

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΟΥΛΓΕΡΙΔΟΥ Α. ΑΓΓΕΛΙΚΗ

Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΑΓΓΕΛΙΚΗ Α. ΔΟΥΛΓΕΡΙΔΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 4523

Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Εφαρμοσμένης Γεωλόγιας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας κι υδρογεωλογίας

Επιβλέπουσα

Παπαχρήστου Μαρία, ΕΔΙΠ Τμ. Γεωλογίας



© Αγγελική Α. Δουλγερίδου , Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας , 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ – Πτυχιακή Εργασία

© Aggeliki A. Doulgeridou, School of Geology AUTH, Dept. of Geology, 2021

All rights reserved

THE GEOTHERMAL EXPLORATION ACTIVITIES IN GREECE DURING THE
PAST 50 YEARS – Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

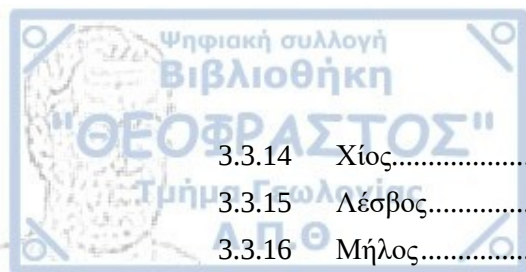
Εικόνα εξωφύλλου : Γεωθερμική Γεώτρηση στη Σαμοθράκης

Πηγή: προσωπικό αρχείο της Μ. Παπαχρήστου



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

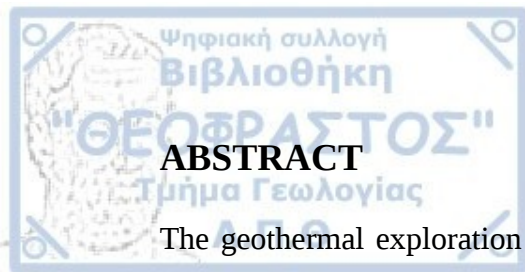
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	12
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	12
3.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1970-2000	12
3.2.1 Μήλος.....	12
3.2.2 Νίσυρος	16
3.2.3 Κίμωλος.....	19
3.2.4 Κως.....	20
3.2.5 Σαντορίνη	22
3.2.6 Λέσβος.....	25
3.2.7 Χίος.....	27
3.2.8 Σαμοθράκη	28
3.2.9 Σουσσάκι (Κεντρική Ελλάδα)	30
3.2.10 Λεκάνη Στρυμόνα (Σερρών).....	31
3.2.11 Λεκάνη Νέστου	35
3.2.12 Νέα Κεσσάνη.....	40
3.2.13 Λεκάνη Δέλτα Έβρου.....	41
3.2.14 Μυγδονία Λεκάνη	45
3.2.15 Λοιπές περιοχές.....	48
3.3 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2000-2005	49
3.3.1 Ίβηρα-Αχινός.....	49
3.3.2 Ακροπόταμος Καβάλας:	50
3.3.3 Αριδαία Πέλλας.....	50
3.3.4 Αλεξάνδρεια Ημαθίας	51
3.3.5 Σάνη Χαλκιδικής	51
3.3.6 Λαγκαδάς Θεσσαλονίκης :	51
3.3.7 Νέα Απολλωνία Θεσσαλονίκης.....	51
3.3.8 Αετός Φλώρινας :	52
3.3.9 Αρίστηνο-Αετοχώρι Έβρου:.....	52
3.3.10 Πέραμα Σάππες Ροδόπης.....	52
3.3.11 Μυρωδάτο Ξάνθης	52
3.3.12 Κόνιτσα Ιωαννίνων.....	52
3.3.13 Αντίρριο.....	53



3.3.14	Χίος.....	53
3.3.15	Λέσβος.....	53
3.3.16	Μήλος.....	53
3.4	ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2005-2010	54
3.4.1	Ακροπόταμος Καβάλας	54
3.4.2	Νέα Απολλωνία	55
3.4.3	Νέο Ρύσιο Θεσσαλονίκης:.....	55
3.4.4	Ριζα-Αντίρριο	56
3.4.5	Δαμάστα (Λεκάνη Σπερχειού).....	56
3.4.6	Βόρεια Εύβοια	57
3.4.7	Θεσσαλία	57
3.4.8	Χίος.....	58
3.4.9	Λέσβος.....	58
3.5	ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2010-2015	59
3.5.1	Σιδηρόκαστρο Ν. Σερρών.....	59
3.5.2	Λιθότοπος-Ηράκλεια Σερρών.....	59
3.5.3	Νέο Εράσμιο (Ξάνθη).....	60
3.5.4	Λήμνος.....	60
3.5.5	Λέσβος.....	60
3.5.6	Σαντορίνη	60
3.5.7	Ανατολική Θεσσαλία.....	62
3.6	ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2015-2020	63
3.6.1	Σιδηρόκαστρο.....	63
3.6.2	Λιθότοπος –Ηράκλεια	63
3.6.3	Νιγρίτα.....	63
3.6.4	Ακροπόταμος.....	63
3.6.5	Νέο Εράσμιο-Μάγγανα	64
3.6.6	Αρίστηνο	64
3.6.7	Λήμνος.....	65
3.6.8	Αιδηψός-Εύβοια	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ		67
4.1	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ	67
4.2	ΑΜΕΣΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ.....	67
4.3	ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		76
ΕΛΛΗΝΙΚΗ.....		76
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ.....		77



Η γεωθερμική έρευνα στην Ελλάδα ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Οι πρώτες έρευνες επικεντρώθηκαν στις περιοχές με τη μεγαλύτερη πιθανότητα για εύρεση ρευστών με θερμοκρασίες κατάλληλες για γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, όπως είναι το ενεργό ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος και Νίσυρος). Στη συνέχεια, κυρίως από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, ακολούθησε μεγάλη κλίμακας έρευνα σε αρκετά νησιά του Κεντρικού και Βορείου Αιγαίου και στη βόρεια Ελλάδα, όπου εντοπίστηκαν πολλές περιοχές με γεωθερμικά συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας ($<90^{\circ}\text{C}$). Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε μια προσπάθεια καταγραφής των γεωθερμικών ερευνητικών δραστηριοτήτων κατά τις τελευταίες σχεδόν πέντε δεκαετίες, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται και τα αποτελέσματά τους σε κάθε περιοχή. Με βάση τα υπάρχοντα δημοσιευμένα δεδομένα, η γεωθερμική έρευνα έχει αποκαλύψει την ύπαρξη περισσότερων από (40) περιοχών γεωθερμικού ενδιαφέροντος σε όλη την επικράτεια, οι περισσότερες εκ των οποίων έχουν ερευνηθεί αρκετά διεξοδικά και κατατάσσονται ως «γεωθερμικά πεδία» τοπικού ή εθνικού ενδιαφέροντος. Τα βεβαιωμένα πεδία εθνικού ενδιαφέροντος είναι τρία (Μήλος, Νίσυρος, Αρίστηνο) και αφορούν σε γεωθερμικά συστήματα με θερμοκρασίες υψηλότερες των 90°C . Τα υπόλοιπα είναι τοπικού ενδιαφέροντος, με θερμοκρασίες $30-90^{\circ}\text{C}$. Η γεωθερμική έρευνα διενεργείται επί του παρόντος σε γνωστά γεωθερμικά πεδία της βόρειας Ελλάδας, ενώ προγραμματίζεται η συνέχιση των ερευνών στη Μήλο, την Κίμωλο, τη Νίσυρο, τη Λέσβο και τα Μέθανα.



ABSTRACT

The geothermal exploration in Greece started during the 1970's. Initially, it focused on the investigation of high enthalpy geothermal systems ($T > 90^{\circ}\text{C}$) in the area of the South Aegean Active Volcanic Arc, mainly in Milos and Nisyros. Later on, it shifted to the exploration of low enthalpy reservoirs ($30\text{-}90^{\circ}\text{C}$) in northern Greece and in several central and north Aegean islands. This thesis presents the geothermal exploration activities in Greece during the last forty-five years, as well as the main characteristics of the discovered geothermal systems in each study area. Based on published data, the geothermal exploration has, so far, revealed the existence of more than forty areas of geothermal interest, most of which have been classified as "geothermal fields". Three of them, are confirmed fields of national interest, with temperatures above 90°C (Milos, Nisyros, Aristino). Currently, geothermal exploration activities are in progress in a few known low enthalpy fields of northern Greece; however, new projects are expected to begin soon in Milos, Kimolos, Nisyros, Lesvos and Methana.



Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Η διαχρονική εξέλιξη της γεωθερμικής έρευνας στην Ελλάδα» εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ υπό την επίβλεψη της Μαρίας Παπαχρήστου, Δρ. Γεωθερμίας και ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωλογίας.

Για την πραγματοποίηση της εργασίας, έγινε εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα για τη συλλογή όλων των δεδομένων που αφορούσαν τις ερευνητικές γεωθερμικές δραστηριότητες στην Ελλάδα από την έναρξή τους (δεκαετία 1970) μέχρι και σήμερα (2021). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δημοσιευμένες μελέτες της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ - τέως ΙΓΜΕ) και πλήθος δημοσιεύσεων σε επιστημονικά συνέδρια, περιοδικά και βιβλία.

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο παρουσιάζονται πολύ συνοπτικά βασικές έννοιες και ορισμοί καθώς και η ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων/συστημάτων σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία αλλά και την ελληνική νομοθεσία.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις βασικές αρχές της γεωθερμικής έρευνας (στάδια, εργαλεία κλπ).

Στο τρίτο κεφάλαιο, που αποτελεί και τον βασικό κορμό της πτυχιακής εργασίας, περιγράφονται αναλυτικά οι γεωθερμικές ερευνητικές δραστηριότητες στην Ελλάδα, από την έναρξή της ως το 2000 και στη συνέχεια ανά πενταετία μέχρι το 2020, ώστε να γίνει καλύτερα κατανοητή η εξέλιξη της γεωθερμικής έρευνας στη χώρα μας. Παρουσιάζονται επίσης τα αποτελέσματα σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος και τα βασικά χαρακτηριστικά των περιοχών που ερευνήθηκαν.

Παρόλο που δεν αποτελεί αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας, θεωρήθηκε σκόπιμη μια σύντομη αναφορά και στην τρέχουσα αξιοποίηση της γεωθερμίας στην Ελλάδα (τέταρτο κεφάλαιο), δεδομένου ότι η γεωθερμική έρευνα είναι εφαρμοσμένη και, επί της ουσίας, στοχεύει στην παροχή όλων των επιστημονικών δεδομένων που θα βοηθήσουν στη βέλτιστη και ορθολογική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται σύνοψη των αποτελεσμάτων της γεωθερμικής έρευνας στον ελληνικό χώρο, καθώς και πολύ σύντομη αναφορά στο σχετικό νομικό πλαίσιο.



Ευχαριστίες

Για την υλοποίηση της εργασίας αυτής, ήταν απόλυτα καθοριστική η συμβολή της επιβλέπουσας, Δρ. Μαρίας Παπαχρήστου. Η υπομονή της και η βοήθεια της ήταν παραπάνω από πολύτιμες, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής και της οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου, τον άνδρα μου και το παιδί μου, για την υπομονή τους και την επιμονή τους να διεκπεραιώσω τη διαδικασία συγγραφής της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωθερμία συνιστά μια ήπια, εναλλακτική και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας. Πρόκειται για τη θερμότητα που παράγεται ή προϋπάρχει στο εσωτερικό της γης, και εκδηλώνεται στην επιφάνειά της με διάφορες μορφές όπως είναι τα ηφαίστεια, οι θερμές πηγές, οι θερμοπίδακες, οι ατμίδες και άλλα τέτοια φαινόμενα. Η θερμότητα του εσωτερικού της γης μεταφέρεται σε μικρότερα βάθη μέσω των ρευστών που κυκλοφορούν στο υπέδαφος. Σε πολλές περιπτώσεις, τα θερμά ρευστά εγκλωβίζονται μέσα σε περατά πετρώματα, τα οποία ονομάζονται «γεωθερμικοί ταμιευτήρες».

Η μέση μεταβολή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος (γεωθερμική βαθμίδα) στον φλοιό της γης είναι περίπου $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Σε κάποιες περιοχές, λόγω ευνοϊκών γεωλογικών συνθηκών, όπως για παράδειγμα ηφαιστειακή ή/και έντονη τεκτονική δραστηριότητα, η γεωθερμική βαθμίδα είναι υψηλότερη και η συσσώρευση θερμικής ενέργειας σημαντική σε σχετικά μικρά βάθη (λίγων χιλιομέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους). Τέτοιες περιοχές συνιστούν χώρους θετικής «γεωθερμικής ανωμαλίας» και υψηλής θερμικής ροής, όπου αναπτύσσονται ένα ή περισσότερα γεωθερμικά συστήματα και ονομάζονται «γεωθερμικά πεδία».

Οι πιο ενεργές, από γεωθερμική άποψη, περιοχές είναι αυτές στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών (Εικόνα 2) όπου αναπτύσσονται μερικά από τα πιο σημαντικά γεωθερμικά πεδία παγκοσμίως. Οι μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας στο εσωτερικό της γης βρίσκονται αποθηκευμένες μέσα σε θερμά και ξηρά ή ημιπερατά πετρώματα. Μέχρι και πριν μερικές δεκαετίες, η θερμότητα αυτή δεν ήταν δυνατόν να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο, λόγω της απουσίας ικανών ποσοτήτων ρευστών που λειτουργούν ως φορείς της θερμότητας. Με την ανάπτυξη όμως της τεχνολογίας των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων και την δημιουργία τεχνητών ταμιευτήρων, άνοιξαν νέοι ορίζοντες για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, ακόμη και σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν οι «κλασσικοί» γεωθερμικοί πόροι. Βέβαια, η τεχνολογία αυτή δεν έχει βρει ακόμη τη δέουσα εμπορική εφαρμογή, λόγω τεχνικών αλλά και οικονομικών δυσκολιών.

Τα γεωθερμικά συστήματα/πεδία ταξινομούνται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τη θερμοκρασία τους, το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται, την ενθαλπία τους κλπ (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004; Καρυδάκης, 2016). Στη διεθνή

βιβλιογραφία έχει επικρατήσει κυρίως η κατηγοριοποίησή τους με βάση την ενθαλπία τους, η οποία είναι ανάλογη της θερμοκρασίας των ρευστών.

Έτσι, ταξινομούνται ως:

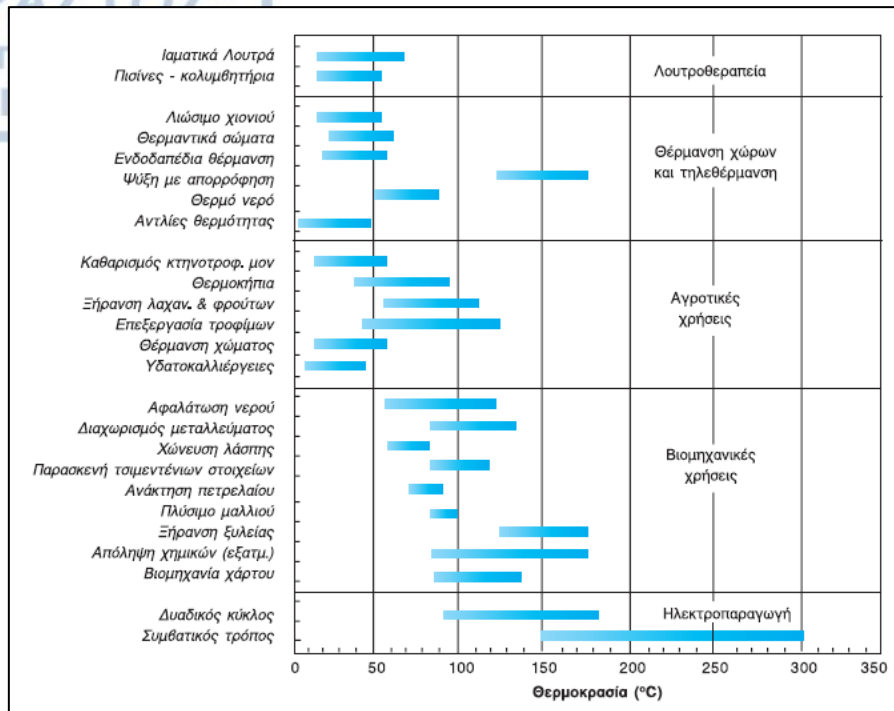
- Υψηλής ενθαλπίας: θερμοκρασίες ρευστών $> 150^{\circ}\text{C}$
- Μέσης ενθαλπίας: θερμοκρασίες ρευστών $90\text{-}150^{\circ}\text{C}$
- Χαμηλής ενθαλπίας: θερμοκρασίες ρευστών $25\text{-}90^{\circ}\text{C}$

Η ταξινόμηση αυτή ακολούθησε κατά κάποιον τρόπο το ιστορικό αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως. Αρχικά, η εμπορική αξιοποίηση της γεωθερμίας αφορούσε την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος που ήταν εφικτή μόνο όταν οι θερμοκρασίες των ρευστών υπερέβαιναν τους 150°C . Παράλληλα, ήταν σαφές ότι τα γεωθερμικά πεδία με θερμοκρασίες μικρότερες των 90°C , που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν άμεσα, ήταν πολύ περισσότερα και με μεγαλύτερη γεωγραφική κατανομή. Κατά συνέπεια, ο διαχωρισμός αυτός ($>150^{\circ}\text{C}$ και $25\text{-}90^{\circ}\text{C}$) θεωρήθηκε απόλυτα συμβατός με την πραγματικότητα. Με το πέρασμα των ετών, η τεχνολογική εξέλιξη επέτρεψε την ηλεκτροπαραγωγή και από ρευστά μέσης θερμοκρασίας ή ενθαλπίας ($90\text{-}150^{\circ}\text{C}$), οπότε προστέθηκε και αυτή η κατηγορία. Υπάρχει και η «αβαθής γεωθερμία», η οποία αφορά τη θερμότητα του υπεδάφους, των γεωλογικών σχηματισμών και των υδροφορέων που είναι μικρότερη των 25°C ($>30^{\circ}\text{C}$ σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία). Το δυναμικό αυτό και δεν χαρακτηρίζεται ως «γεωθερμικό», αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) για παροχή θέρμανσης, ψύξης και παροχή ζεστού νερού χρήσης.

Στην ελληνική νομοθεσία (Ν. 4602/9-3-2019), τα γεωθερμικά πεδία ταξινομούνται ως «εθνικού» και «τοπικού ενδιαφέροντος», ανάλογα με το αν οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες ή μικρότερες των 90°C , αντίστοιχα. Όταν η θερμοκρασία των ρευστών ή των γεωλογικών σχηματισμών είναι μικρότερη των 30°C , τότε εμπίπτουν στην κατηγορία της αβαθούς γεωθερμίας.

Με βάση τη θερμοκρασία των ρευστών, η γεωθερμία αξιοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ($>90^{\circ}\text{C}$), ή άμεσα, ως θερμότητα, σε πλήθος εφαρμογών που απαιτούν θερμική ενέργεια, όπως η θέρμανση χώρων, τα θερμοκήπια, η ξήρανση, η αφαλάτωση κλπ ($>25\text{-}30^{\circ}\text{C}$).

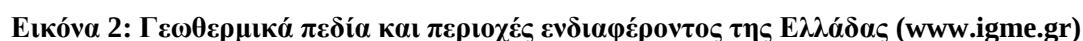
Ακολουθεί το διάγραμμα του Lindal (1973) με τις γεωθερμικές χρήσεις σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία (Εικόνα 1):



Εικόνα 1: Διάγραμμα Lindal (Lindal, 1973; Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Η Ελλάδα, λόγω της γεωτεκτονικής της θέσης, είναι ιδιαίτερα ευνοημένη από γεωθερμική άποψη. Γεωθερμικά πεδία υψηλής (>90°C) αλλά και χαμηλής θερμοκρασίας (30-90°C) έχουν ανακαλυφθεί σε όλη σχεδόν την επικράτεια (Εικόνα 2). Η γεωθερμική έρευνα στην Ελλάδα διεξήχθη κατά κύριο λόγο από το ΙΓΜΕ (νυν ΕΑΓΜΕ- Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών), αλλά και από άλλους ερευνητικούς φορείς (Πανεπιστήμια, Ερευνητικά Ινστιτούτα κλπ). Ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 από τις περισσότερο υποσχόμενες περιοχές, όπως είναι τα νησιά του ελληνικού ηφαιστειακού τόξου, και στη συνέχεια επεκτάθηκε στις οπισθοτόξιες περιοχές, όπως το βόρειο και κεντρικό Αιγαίο και οι Τριτογενείς τεκτονικές λεκάνες της Βόρειας Ελλάδας. Μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί περισσότερα από 40 γεωθερμικά πεδία και γεωθερμικές περιοχές σε όλη τη χώρα, ενώ η έρευνα συνεχίζεται σε μη ερευνημένες περιοχές ή σε ήδη γνωστά πεδία, με σκοπό την επέκτασή τους και τη συλλογή περισσότερων δεδομένων για τη βέλτιστη αξιοποίησή τους.

Πολλές χώρες εκμεταλλεύονται τους γεωθερμικούς τους πόρους για ηλεκτρικές ή άμεσες χρήσεις. Η συνολική εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς παγκοσμίως από άμεσες εφαρμογές ανέρχεται σε 107,727 MWth (Lund and Toth, 2020), ενώ από τη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή σε 103,2 MWe (Huttrer, 2020). Στην Ελλάδα, το βεβαιωμένο γεωθερμικό δυναμικό από τους πόρους χαμηλής ενθαλπίας προσεγγίζει



Η γεωθερμία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών αλλά και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι διαθέσιμη συνεχώς, χωρίς να εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, έχει σχεδόν μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ενώ αποφέρει αποδεδειγμένα πολλαπλά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη στις περιοχές που αξιοποιείται. Ένα γεωθερμικό πεδίο, ακόμη και όταν βρίσκεται υπό εντατική

εκμετάλλευση, μπορεί να παραμένει βιώσιμο και παραγωγικό για πολλές δεκαετίες, υπό την προϋπόθεση όμως της ορθολογικής αξιοποίησής του (Παπαχρήστου, 2009).

Κάτι τέτοιο, περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα μετά τη χρήση τους, διαρκή παρακολούθηση (monitoring) των κρίσιμων παραμέτρων του ταμιευτήρα (θερμοκρασία, πίεση, χημισμός των ρευστών), εφαρμογή κατάλληλων μοντέλων διαχείρισης του πεδίου, επιλογή κατάλληλης μορφής αξιοποίησης, μεγέθους εφαρμογών κλπ.

Οι λόγοι που η γεωθερμία είναι η λιγότερο ανεπτυγμένη ΑΠΕ στην Ελλάδα, είναι πολλοί και περίπλοκοι. Η αποτυχία των πρώτων πιλοτικών εφαρμογών γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής, η επακόλουθη δυσπιστία των τοπικών κοινωνιών και οι μύθοι που έχουν δημιουργηθεί γύρω από τη γεωθερμία, η απουσία κατάλληλου ρυθμιστικού νομικού πλαισίου για πολλά χρόνια, η γραφειοκρατία αλλά και η οικονομική κρίση, είναι κάποια μόνο από τα βασικά αίτια για την πολύ μέτρια πορεία της γεωθερμικής ανάπτυξης στη χώρα μας (Papachristou et al., 2016b).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη γεωθερμικών ταμιευτήρων και η οριοθέτηση ενός γεωθερμικού πεδίου διεξάγεται μια σειρά ειδικών μελετών και ερευνητικών εργασιών που όλες μαζί συνιστούν τη γεωθερμική έρευνα.

Η γεωθερμική έρευνα έχει πολλά και διαφορετικά στάδια, αλλά μπορεί να συνοψιστεί στα εξής (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004):

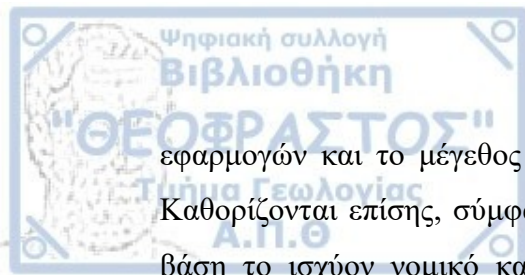
- Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας
- Λεπτομερής και συστηματική έρευνα πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών
- Εντοπισμός/περιχάραξη γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών τους
- Ανάπτυξη και διαχείριση γεωθερμικών πεδίων.

Το πρώτο στάδιο αφορά στις αρχικές εργασίες που διεξάγονται σε μια ευρύτερη περιοχή όπου έχουν ανιχνευθεί ενδείξεις γεωθερμικής δραστηριότητας. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν αναγνωριστικές επισκέψεις στην ύπαιθρο, αποτύπωση των επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας, συλλογή και μελέτη των σχετικών θεματικών χαρτών και βιβλιογραφικών δεδομένων κλπ και μια πρώτη εκτίμηση των δομών που θα μπορούσαν να συνιστούν ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα.

Κατά το δεύτερο στάδιο, και αφού αποφασιστούν οι πιο πιθανές γεωθερμικές περιοχές, διεξάγονται, κατά περίπτωση, λεπτομερείς και στοχευμένες γεωλογικές, υδρογεωλογικές, τεκτονικές, γεωχημικές, ηφαιστειολογικές μελέτες, γεωφυσικές διασκοπήσεις, θερμομετρήσεις και, τέλος, ερευνητικές γεωτρήσεις.

Αξιολογώντας τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις παραπάνω ερευνητικές εργασίες, γίνεται χωροθέτηση και διάνοιξη παραγωγικών γεωτρήσεων, με σκοπό τη μελέτη του γεωθερμικού ταμιευτήρα (έκταση, γεωμετρία, θερμοδυναμικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά) την εκτίμηση του γεωθερμικού δυναμικού, την κατασκευή του γεωθερμικού μοντέλου και τελικά την οριοθέτηση της γεωθερμικής ανωμαλίας και του πεδίου.

Ακολουθεί μια πρόωπη αποτίμηση των δυνατοτήτων ανάπτυξης του πεδίου, των τεχνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών συνεπειών που θα είχε η αξιοποίηση της γεωθερμίας στην συγκεκριμένη περιοχή, και αναζητείται ο βέλτιστος τρόπος εκμετάλλευσής της. Στο στάδιο αυτό, αποφασίζεται, ανάλογα με τον χαρακτήρα της περιοχής (αστικός, αγροτικός, τουριστικός κλπ) το είδος των γεωθερμικών



εφαρμογών και το μέγεθος της αξιοποίησης, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες. Καθορίζονται επίσης, σύμφωνα πάντα με τις ιδιαιτερότητες του κάθε πεδίου και με βάση το ισχύον νομικό καθεστώς, οι φορείς διαχείρισης και εκμετάλλευσης του πεδίου, οι πιθανοί χρήστες και η διάρκεια μίσθωσης του γεωθερμικού χώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας, στα όρια της Ευρασιατικής με την Αφρικανική πλάκα, και η κίνηση της μίας κάτω από την άλλη, έχει οδηγήσει στη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη πολλών γεωθερμικών συστημάτων υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας. Σε νησιά του Ενεργού Ηφαιστειακού Τόξου του Νοτίου Αιγαίου, όπως είναι η Μήλος και η Νίσυρος, έχουν επιβεβαιωθεί μέσω της γεωθερμικής έρευνας, η ύπαρξη ταμιευτήρων με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 300°C. Στην ηπειρωτική χώρα, ιδιαίτερα στη βόρεια Ελλάδα, αλλά και σε νησιά του κεντρικού και βόρειου/βορειο-ανατολικού Αιγαίου, υπάρχουν πολλά και σημαντικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας (30-90°C), αλλά και περιοχές με ισχυρές ενδείξεις μέσω θερμοκρασιών (έως 150°C) που χρήζουν όμως περαιτέρω διερεύνησης. (Papachristou et al., 2016b). Η γεωθερμική έρευνα στην Ελλάδα ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 από το Ενεργό Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου. Επικεντρώθηκε αρχικά στα νησιά Μήλος και Νίσυρος, για τα οποία υπήρχαν ενδείξεις ύπαρξης σημαντικής γεωθερμικής ανωμαλίας. Τις επόμενες δεκαετίες, η γεωθερμική έρευνα επεκτάθηκε σε άλλες περιοχές, όπως είναι οι τριτογενείς λεκάνες της Βόρειας Ελλάδας, (Στρυμόνα, Ξάνθης, Δέλτα Έβρου, Δέλτα Νέστου, κλπ) καθώς και νησιά του βόρειου και κεντρικού Αιγαίου (Λέσβος, Χίος, Σαμοθράκη κ.ά), αναζητώντας κυρίως γεωθερμικά πεδία χαμηλής και μέσης ενθαλπίας.

3.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1970-2000

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι εργασίες και τα αποτελέσματα της γεωθερμικής έρευνας στην Ελλάδα κατά τα πρώτα 30 χρόνια, ξεκινώντας από τα βεβαιωμένα πεδία υψηλής ενθαλπίας, ενώ στη συνέχεια αναλύεται και η πολύ σημαντική έρευνα για τη γεωθερμική ενέργεια χαμηλής-μέσης ενθαλπίας σε άλλες περιοχές της χώρας.

3.2.1 Μήλος

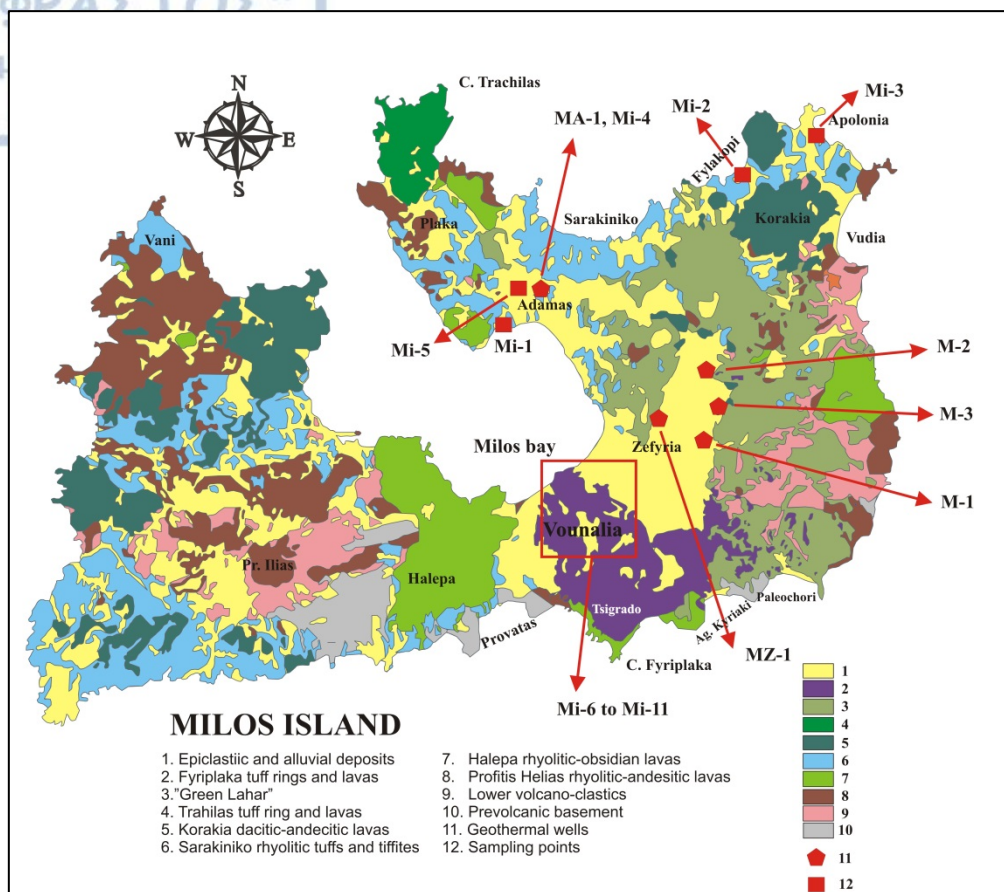
Η Μήλος βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου. Αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από ηφαιστειακούς σχηματισμούς (Εικόνα 3) οι οποίοι υπέρκεινται του μεταμορφωμένου και ιζηματογενούς προ-ηφαιστειακού υποβάθρου. Το κρυσταλλικό μεταμορφωμένο υπόβαθρο ανήκει

γεωτεκτονικά στην Αττικο-Κυκλαδική Μάζα (Fytikas, 1989a) και εμφανίζεται επιφανειακά σε λίγες μόνο θέσεις στο νοτιότερο τμήμα του νησιού. Κυριαρχούν οι χλωριτικοί σχιστόλιθοι, ενώ τα μάρμαρα (που έχουν εκτεταμένη παρουσία στα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων) εμφανίζονται ως ξενόλιθοι που ήρθαν στην επιφάνεια μέσω ηφαιστειακών και φρεατικών εκρήξεων (Fytikas, 1989a). Τα νεογενή ιζήματα αποτέθηκαν κατά το Μειόκαινο και το Πλειόκαινο και αποτελούνται από κροκαλοπαγή βάσης και εναλλαγές ασβεστολίθων, μαργών, ψαμμιτώ και αργίλων. Εμφανίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα της Μήλου, καλύπτοντας σε κάποιες θέσεις το μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Στη βόρεια Μήλο τα ιζηματογενή πετρώματα έχουν βρεθεί σε βάθη μεταξύ 500m και 800m.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα ξεκίνησε πριν από 3,5 εκ. έτη και συνεχίστηκε μέχρι τους πρόσφατους ιστορικούς χρόνους με φρεατικές υδροθερμικές εκρήξεις (Fytikas et al., 1984). Τα ηφαιστειακά πετρώματα αποτελούνται από λάβες και πυροκλαστικά υλικά κυρίως από ανδεσίτες, δακίτες και ρυόλιθους. Οι σχηματισμοί αυτοί καλύφθηκαν σχεδόν εντελώς από τα προϊόντα της ισχυρής φρεατομαγματικής δραστηριότητας (μεταμορφωμένα και ηφαιστειακά θραύσματα) που έχουν την κοινή ονομασία «πράσινο λαχάρ» (Fytikas and Marinelli, 1976). Οι ηφαιστειακοί σχηματισμοί υπέστησαν υδροθερμική εξαλλοίωση, στην οποία οφείλεται και η δημιουργία των σημαντικών κοιτασμάτων διαφόρων ορυκτών που υπάρχουν στη Μήλο, όπως καολίνη και μπεντονίτη.

Η γεωθερμική ανωμαλία της Μήλου συνδέεται άμεσα με την πιο πρόσφατη (Πλειόκαινο-Τεταρτογενές) τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα (Drakopoulos & Delimbasis, 1973, Delimpasis & Drakopoulos, 1993). Η διασταύρωση των ΒΔ-ΝΑ και των ΑΒΑ-ΔΝΔ κανονικών ρηγμάτων που δημιουργήθηκαν, αντίστοιχα, κατά το Πλειόκαινο και το Τεταρτογενές, φαίνεται πως έχει ευνοήσει ιδιαίτερα την κυκλοφορία των θερμών ρευστών και την ανάπτυξη γεωθερμικών ταμιευτήρων σε διάφορα βάθη.

Ισχυρές ενδείξεις σημαντικής γεωθερμικής δραστηριότητας υπήρχαν άφθονες: υδροθερμικοί κρατήρες, ατμίδες, θερμές πηγές και θερμά εδάφη με θερμοκρασίες από 76 έως 101°C.



Εικόνα 3: Γεωλογικός χάρτης της Μήλου, με τις θέσεις των γεωθερμικών γεωτρήσεων (Papachristou et al., 2014, τροποποίηση από Fytikas 1977; 1978)

Η συστηματική γεωθερμική εξερεύνηση στο νησί της Μήλου ξεκίνησε το 1971, με πραγματοποίηση γεωλογικής χαρτογράφησης, δειγματοληψίες νερού, εδάφους και πετρωμάτων για γεωχημική ανάλυση, αποτύπωση των θερμικών επιφανειακών εκδηλώσεων, θερμομετρήσεις, υδρογεωλογική και ηφαιστειολογική μελέτη, τεκτονική ανάλυση κλπ. Η επιφανειακή έρευνα διήρκεσε περίπου δύο έτη (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004) και οδήγησε στην διαπίστωση μιας μεγάλης θερμικής ανωμαλίας στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού, όπου οι γεωλογικές συνθήκες ήταν ιδιαίτερα ευνοϊκές για τη δημιουργία γεωθερμικού συστήματος υψηλής ενθαλπίας. Στις περιοχές αυτές, η γεωθερμική βαθμίδα είναι ιδιαίτερα υψηλή, και διαμορφώνεται στους 80°C/100m (Φυτίκας, 1977). Γεωθερμική δραστηριότητα ανακαλύφθηκε και στο δυτικό τμήμα της Μήλου, ενώ πιθανώς η σημαντική θετική ανωμαλία να επεκτείνεται και νοτιοδυτικά της Ζεφυρίας (Φυτίκας, 1977).

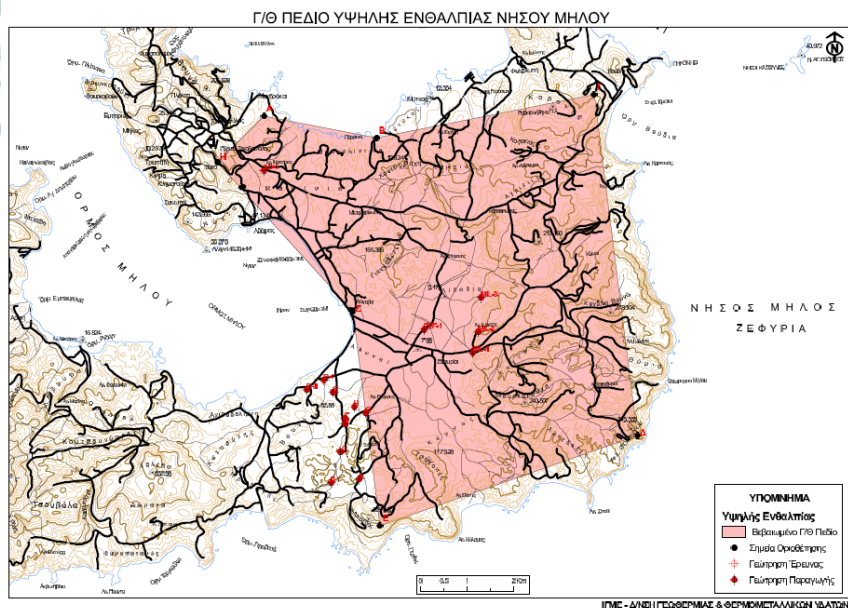
Το διάστημα 1975-1976, η ΔΕΗ ξεκίνησε ένα πραγματικά φιλόδοξο και πρωτοποριακό για την εποχή του έργο, με την διάνοιξη των δύο πρώτων βαθιών (>1000m) γεωτρήσεων έρευνας-παραγωγής. Τα αποτελέσματα της γεωτρητικής έρευνας απέδειξαν την παρουσία ταμιευτήρων υψηλής ενθαλπίας που θα μπορούσαν

να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα επόμενα χρόνια κατασκευάστηκαν και άλλες γεωτρήσεις παραγωγής, στη Ζεφυρία και στον Αδάμαντα, και μια πιλοτική γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα εγκατεστημένης ισχύος 2MWe, με τελικό στόχο την εγκατάσταση 30 MWe (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

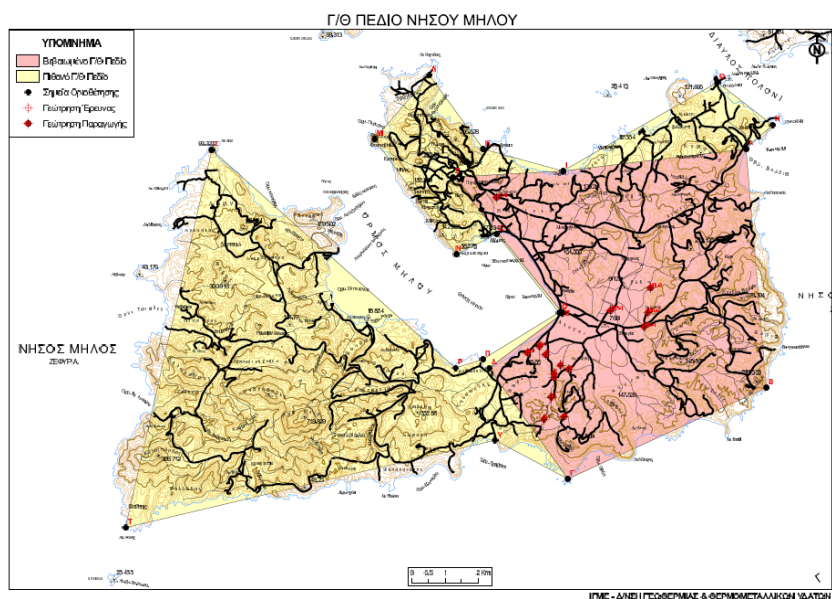
Το 1981 πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Ζεφυρίας (κεντρική Μήλος)η ανόρυξη τριών (3) παραγωγικών γεωτρήσεων σε βάθος 1180 m ,1381 m και 1017m αντίστοιχα (Φυτίκας & Ανδρίτσος 2004) με θερμοκρασίες των (διφασικών) ρευστών στον ταμιευτήρα της τάξης των 325°C. Η θερμοκρασία των ρευστών στην κεφαλή των γεωτρήσεων ήταν 200-220°C. Στη Ζεφυρία, ο γεωθερμικός ταμιευτήρας βρέθηκε μέσα στους διαρρηγμένους χαλαζίτες και τους σχιστόλιθους του υποβάθρου (Fytikas et al., 1976). Στον Αδάμαντα, στη γεώτρηση MA-1 που έφτασε σε βάθος 1163m, η οροφή του ταμιευτήρα βρέθηκε μέσα σε ηφαιστειακούς σχηματισμούς, πάνω από τους νεογενείς αβεστόλιθους. Η συνολική παροχή των παραγωγικών γεωτρήσεων ήταν περίπου 350 tn/h (Fytikas, 1988) (200tn/h κορεσμένου ατμού και ~150tn/h θερμού νερού). Εκτιμήθηκε ότι με βάση τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων, θα μπορούσε να υποστηριχθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος 20-25 MWe. Επίσης, η γεωτρητική έρευνα έδειξε την παρουσία ρηχότερων (20-100m) ταμιευτήρων χαμηλής θερμοκρασίας(40-100°C), οι οποίοι διερευνήθηκαν σε μεταγενέστερο χρόνο.

Η γεωθερμική έρευνα είχε ως αποτέλεσμα την οριοθέτηση του γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας (εθνικού ενδιαφέροντος) της Μήλου, που έχει έκταση 50km² (Εικόνα 4).

Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι σε ολόκληρο το νησί αναπτύσσεται ένα γεωθερμικό σύστημα χαμηλής ενθαλπίας (τοπικού ενδιαφέροντος), μέχρι το βάθος των 200m, το οποίο διαχωρίζεται από το σύστημα χαμηλής ενθαλπίας λόγω της παρουσίας αδιαπέρατων λιθολογικών σχηματισμών. Το βεβαιωμένο (δηλ. το πληρέστερα ερευνημένο) γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας έχει έκταση 63km², ενώ όλη η περιοχή τοπικού γεωθερμικού ενδιαφέροντος (πιθανό πεδίο) καταλαμβάνει έκταση 87 km² (Εικόνα 5).



Εικόνα 4: Γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας Μήλου (ΙΓΜΕ, 2007)



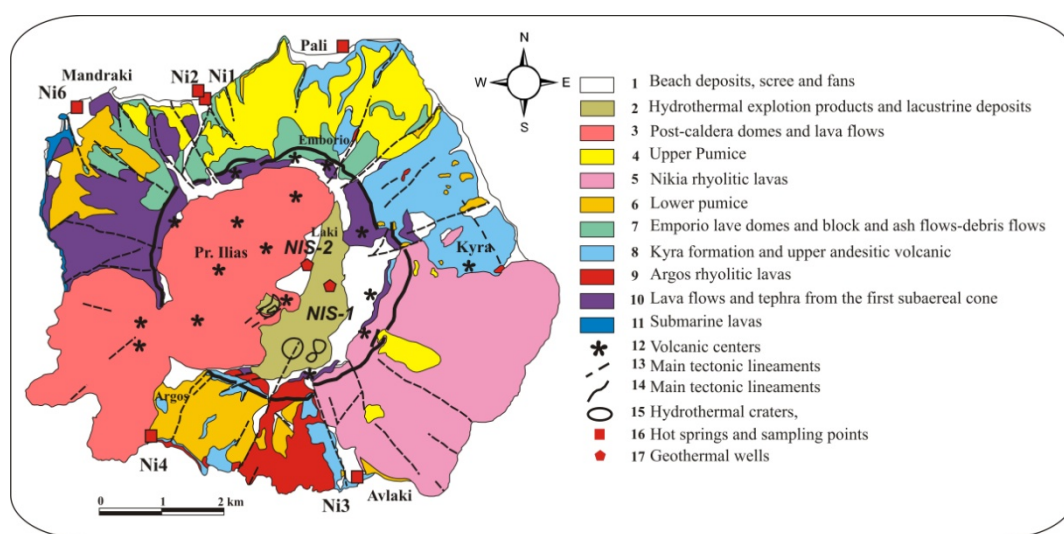
Εικόνα 5: Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας (τοπικού ενδιαφέροντος) Μήλου (ΙΓΜΕ, 2007)

3.2.2 Νίσυρος

Η Νίσυρος βρίσκεται στο ανατολικό άκρο του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου. Πρόκειται για ένα μικρό, κυκλικού σχήματος, νησί (Εικόνα 6) που δομείται σχεδόν ολοκληρωτικά από ηφαιστειακά πετρώματα και διαμορφώθηκε κατά το τέλος του Τεταρτογενούς, αποτελώντας το νεότερο ηφαίστειο του ελληνικού τόξου (Vougioukalakis & Fytikas, 2005).

Το γεωθερμικό πεδίο της Νισύρου κατατάσσεται δεύτερο σε δυναμικότητα μετά της Μήλου και ένα από τα πιο θερμά πεδία παγκοσμίως σε αντίστοιχο γεωτεκτονικό περιβάλλον (σύγκλισης πλακών). Οι ηφαιστειο-σεισμικές μελέτες που διεξήχθησαν στην περιοχή (Papadopoulos, 1984 και Papadopoulos et al., 1998) έδειξαν την παρουσία ενός μαγματικού θαλάμου σε βάθος περίπου 2km.

Το προηφαιστειακό υπόβαθρο αποτελείται από Μεσοζωϊκά ανθρακικά πετρώματα και Νεογενή ιζήματα (Barberi et al., 1988), που συναντώνται σε βάθη-600 και -1000m. Η καлдέρα στο κεντρικό τμήμα της Νισύρου έχει πληρωθεί κυρίως από λιμναία και αλλουβιακά ιζήματα.



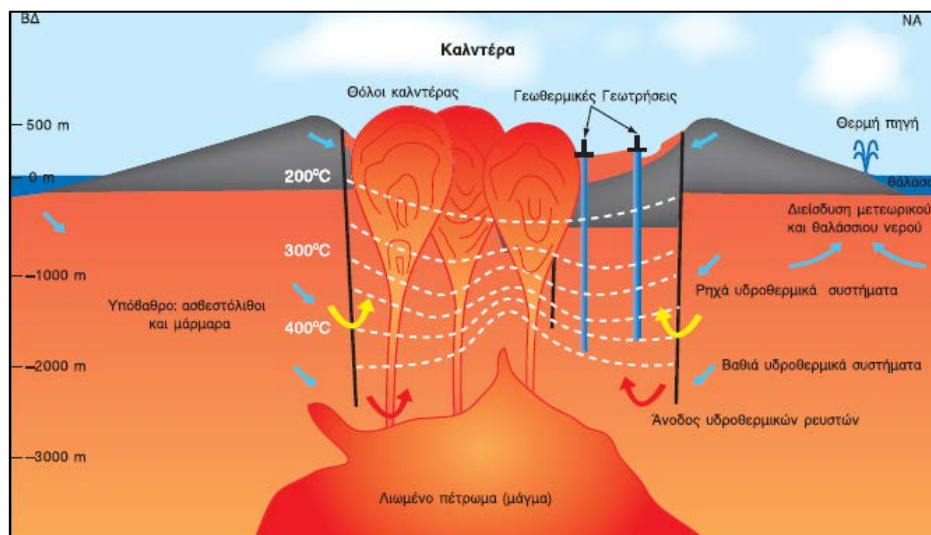
Εικόνα 6: Γεωλογικός χάρτης της Νισύρου με τις θέσεις των γεωθερμικών γεωτρήσεων (Papachristou et al., 2014, τροποποίηση από Francalanci et al., 2005)

Η πρώτη ηφαιστειακή δραστηριότητα στο νησί ήταν υποθαλάσσια. Τα παλιότερα ηφαιστειακά πετρώματα έχουν ηλικία μικρότερη των 160 εκ. ετών (Vougioukalakis & Fytikas, 2005). Η δημιουργία της καлдέρας είναι μεταγενέστερη, ενώ ακολουθεί η δημιουργία δακτυικών δόμων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, ροών λάβας δακτυικής-ρυολιθικής σύστασης και άλλων ηφαιστειακών σχηματισμών (Caliro et al., 2005). Πολλές υδροθερμικές εκρήξεις έχουν επηρεάσει το νότιο τμήμα της Νισύρου, όπως και την καлдέρα, κάποιες εκ των οποίων έλαβαν χώρα σε πολύ πρόσφατους ιστορικούς χρόνους, μεταξύ των ετών 1871 και 1873, καθώς και το 1888, δημιουργώντας κρατήρες, όπως ο Μεγάλος και ο Μικρός Πολυβώτης (Caliro et al., 2005).

Η σημαντική γεωθερμική ανωμαλία της Νισύρου, εκδηλώνεται επιφανειακά με την παρουσία πολλών θερμών πηγών και ατμίδων. Η θερμοκρασία του εδάφους και των σχηματισμών στην περιοχή των ατμίδων είναι περίπου 100°C. Στις νότιες και

βόρειες ακτές του νησιού έχουν βρεθεί πηγές υφάλμυρου νερού με μέγιστη θερμοκρασία 54°C.

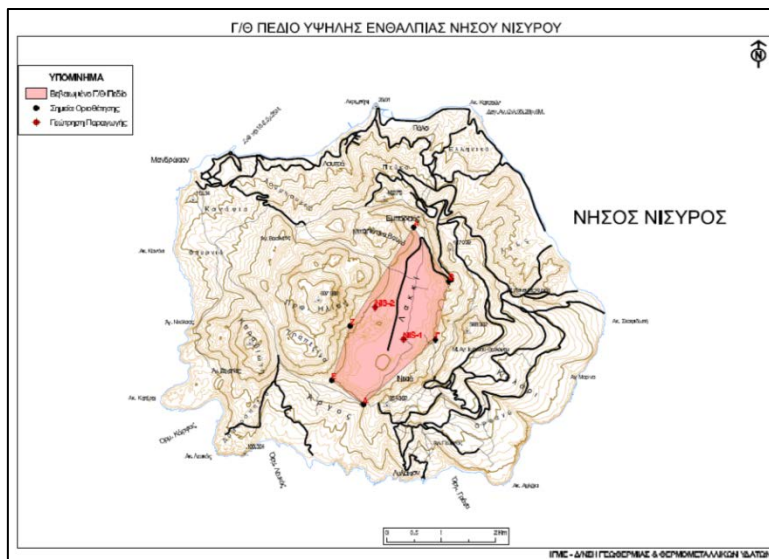
Η επιφανειακή γεωθερμική έρευνα έδειξε την πιθανή παρουσία ταμιευτήρων υψηλής ενθαλπίας σε βάθη 1000 έως 1500m και μέσης ενθαλπίας σε μικρότερα βάθη (100-500m), κάτι που επιβεβαιώθηκε στη συνέχεια από τη γεωτρητική έρευνα (Vrouzi, 1985; Koutroupis, 1992). Οι δύο μεγάλοι βάθους γεωθερμικές γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής στη Νίσυρο, οι NIS-1 και NIS-2 (Εικόνες 6 και 7), πραγματοποιήθηκαν το 1982 στην περιοχή Λακκί, στο εσωτερικό της καλδέρας. Η γεωθερμική βαθμίδα στα πρώτα 300m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ήταν δεκαπλάσια από τη μέση τιμή (~35°C/100m). Η πρώτη γεώτρηση (NIS-1) συνάντησε τον θερμότερο ($T > 400^{\circ}\text{C}$) ταμιευτήρα μέσα στο μεταμορφωμένο και υδροθερμικά εξαλλοιωμένο υπόβαθρο, σε βάθος 1420-1816m. Η δεύτερη γεώτρηση (NIS-2) εντόπισε τον κύριο γεωθερμικό ταμιευτήρα σε μικρότερα βάθη (1000-1547m), με θερμοκρασίες που ξεπερνούσαν τους 350°C, ενώ σε μικρότερα βάθη, μεταξύ 370 και 470m, οι θερμοκρασίες ήταν επίσης πολύ υψηλές, της τάξης των 150 °C (Mendrinou et al., 2010). Σύμφωνα με τους Kanouridis et al. (1999), ρευστά με ενδιάμεσες θερμοκρασίες (120-170°C), πιθανώς υπάρχουν σε όλο το υπέδαφος του νησιού, ενώ το ίδιο ισχύει και για ρευστά χαμηλής ενθαλπίας (45-75°C).



Εικόνα 7: Σχηματική τομή της Νισύρου με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Οι δύο παραγωγικές γεωτρήσεις παρήγαγαν διφασικά ρευστά (αέρια προς υγρή φάση 27:73, ΙΓΜΕ, 2007), τα οποία θα μπορούσαν να τροφοδοτήσουν μια γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα 5MWe και στη συνέχεια να

χρησιμοποιηθούν για διάφορες άμεσες θερμικές εφαρμογές. Το γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας της Νισύρου, όπως οριοθετήθηκε από την έρευνα του ΙΓΜΕ, είναι το δεύτερο πεδίο εθνικού ενδιαφέροντος της Ελλάδας και έχει έκταση 3,5km² (Εικόνα 8)



Εικόνα 8: Το γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας (εθνικού ενδιαφέροντος) της Νισύρου (ΙΓΜΕ, 2007)

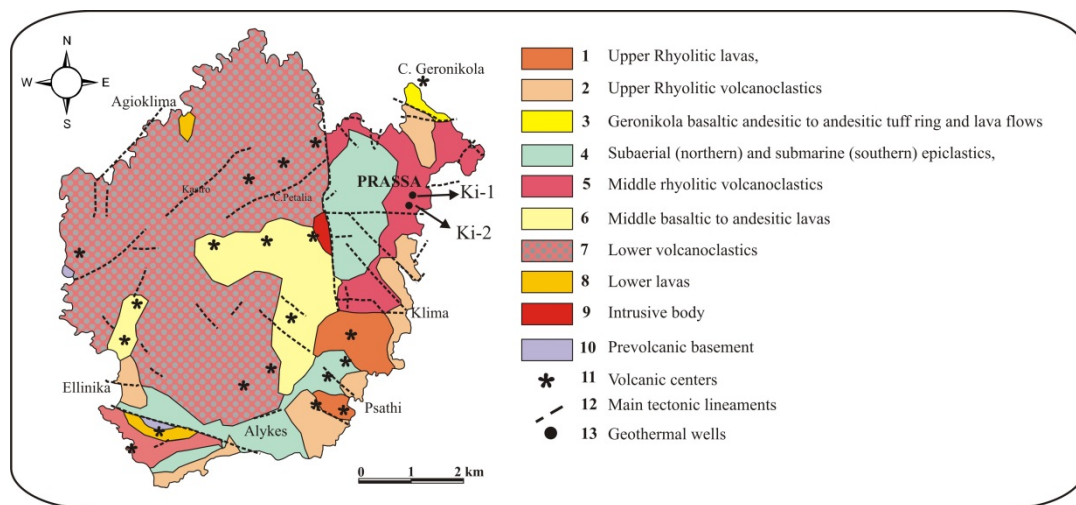
3.2.3 Κίμωλος

Η Κίμωλος βρίσκεται στη θαλάσσια περιοχή βορειοανατολικά της Μήλου και αποτελεί μέρος του νησιωτικού συμπλέγματος του αρχιπελάγους της Μήλου. Αποτελείται κυρίως από προϊόντα ηφαιστειακής δραστηριότητας (Fytikas & Vougioukalakis, 1993), και δημιουργήθηκε κατά περίοδο πριν 3,5 έως 1,6 εκ. έτη (Francalanci et al., 2007).

Το προ-ηφαιστειακό υπόβαθρο εμφανίζεται σε πολύ περιορισμένη έκταση και μόνο στο δυτικό μέρος του νησιού (Εικόνα 9) και αποτελείται από μαρμαρυγιακούς και χαλαζιακούς σχιστόλιθους. Στο κεντρικό τμήμα του νησιού, υπάρχουν γρανιτικές διεισδύσεις κοντά στην περιοχή Πετάλι καθώς και μέσα στις μεγάλες πυροκλαστικές ροές κοντά στο Κάστρο (Φυτίκας και Βουγιουκαλάκης, 1993). Τόσο οι γρανιτικές ενότητες όσο και τα μεταμορφωμένα πετρώματα, είναι ισχυρά τεκτονισμένες δομές, κάτι που ευνοεί την κυκλοφορία των θερμών ρευστών (Tsokas et al., 1995).

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα είχε ως αποτέλεσμα την απόθεση δύο μεγάλων ιγκνιμβριτικών σχηματισμών στις περιοχές Κάστρο και Πρασά, καθώς και την παραγωγή άλλων ηφαιστειακών υλικών που ανήκουν στην ασβεσταλκαλική και Κ-ασβεσταλκαλική σειρά (Fytikas et al., 1986). Από τεκτονική άποψη, στην Κίμωλο

κυριαρχούν τέσσερα σημαντικά συστήματα ρηγμάτων, B-N, BA-ΝΔ, Α-Δ και ΒΣ-ΝΑ διεύθυνσης, με κυριότερο το B-N σύστημα (Tsokas et al., 1995).



Εικόνα 9: Γεωλογικός χάρτης της Κιμώλου (Papachristou et al., 2014, από Francalanci et al., 2005)

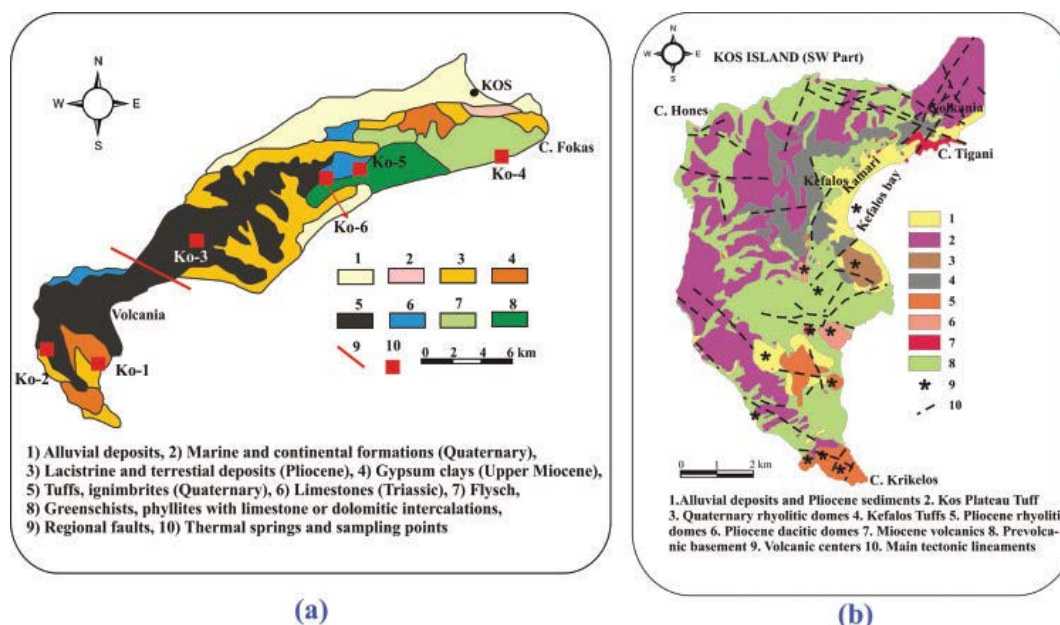
Κατά μήκος των BA-ΝΔ τεκτονικών γραμμών στις ΒΔ ακτές της Κιμώλου, αναβλύζουν πολλές θερμές πηγές σημαντικής παροχής και με θερμοκρασίες έως 56°C (Tsokas et al., 1995; Karytsas et al., 2002). Θερμές πηγές υπάρχουν επίσης στις ΒΑ ακτές, με θερμοκρασίες έως 46°C. Σε υπάρχουσες ρηχές (50-240m) γεωτρήσεις στην περιοχή Πρασσά, έχουν μετρηθεί θερμοκρασίες ρευστών μέχρι 61,5°C, με μεγάλη παροχή. Ο χαμηλής ενθαλπίας ταμιευτήρας εντοπίζεται μέσα στους πορώδους ηφαιστειοκλαστικούς σχηματισμούς και τροφοδοτείται από τη θάλασσα (Fytikas, 1995; Fytikas et al., 2000).

Συστηματική γεωτρητική έρευνα με βαθιές γεωθερμικές γεωτρήσεις δεν έχει γίνει ακόμη στην περιοχή, όμως τα γεωθερμόμετρα (SiO₂, Na/K and Na-K-Ca) δείχνουν αρχική θερμοκρασία ταμιευτήρα, 64-78°C, 108-114°C και 169-228°C, αντίστοιχα (Karytsas et al., 2002).

3.2.4 Κως

Η Κως είναι το ανατολικότερο νησί του ελληνικού ηφαιστειακού τόξου. Χαρακτηρίζεται από περίπλοκη γεωλογική δομή (Εικόνα 10), ηφαιστειότητα και επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας που συνδέονται με την εφελκυστική τεκτονική δραστηριότητα και το γεωδυναμικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής (Dalabakis, 1987; Bardintzeff et al., 1989, Papanikolaou & Lekkas, 1990).

Δεν έχει γίνει συστηματική και λεπτομερής γεωθερμική έρευνα στην Κω, τουλάχιστον σε επίπεδο βαθιών γεωτρήσεων. Παρόλα αυτά, οι επιφανειακές έρευνες έδειξαν πως υπάρχουν δύο περιοχές με γεωθερμικό ενδιαφέρον: τα Βολκάνια στη νοτιοδυτική Κω και κοντά στις θερμές πηγές του Αγίου Φωκά στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού.



Εικόνα 10: (a) Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της Κω (Papachristou et al, 2014, τροποποίηση από La Ruffa et al., 1999), b) Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης του ΝΔ τμήματος της Κω (Papachristou et al., 2014, τροποποίηση από Francalanci et al., 2005)

Στα Βολκάνια υπάρχουν δύο ερευνητικές γεωτρήσεις που έφτασαν σε βάθος 400-450m, με χαμηλή όμως θερμοκρασία (24°C). Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι ο γεωθερμικός ταμιευτήρας βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερο βάθος, ίσως και μεγαλύτερο του 1km (Lagios et al., 1998). Οι υδροθερμικά εξαλλοιωμένες μάργες και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι που συναντήθηκαν μετά τα 300-350m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, προφανώς συνιστούν το αδιαπέρατο κάλυμμα του ταμιευτήρα που δεν επιτρέπει την άνοδο και κυκλοφορία των θερμών ρευστών σε μικρότερα βάθη (La Ruffa et al., 1999). Σύμφωνα με τα γεωθερμόμετρα που εφαρμόστηκαν σε δείγματα από διάφορα μέρη του νησιού, η αρχική θερμοκρασία στον ταμιευτήρα στην περιοχή του Κέφαλου είναι μεγαλύτερη των 100°C, ενώ η θερμοκρασία στις υπόλοιπες περιοχές δεν πρέπει να ξεπερνά τους 60°C.

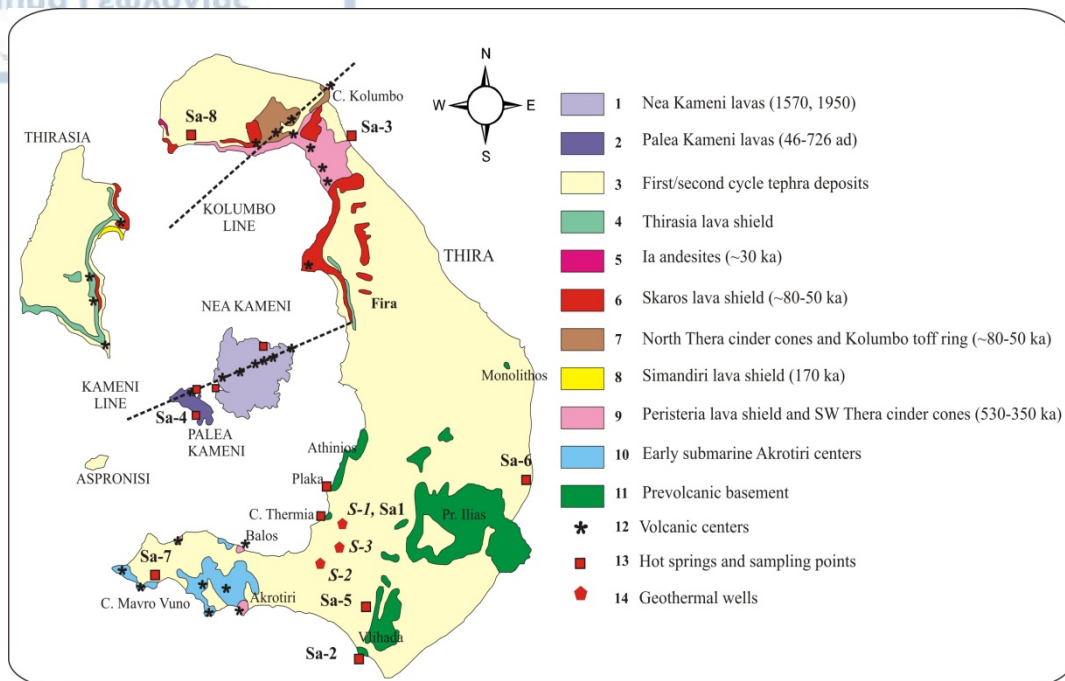
3.2.5 Σαντορίνη

Η Σαντορίνη, ή Θήρα, βρίσκεται στο νοτιότερο τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου. Το νησί δομείται σχεδόν αποκλειστικά από Πλειοκαινικά έως πολύ πρόσφατα πυροκλαστικά υλικά και λάβες (Εικόνα 11) (Skarpelis & Liati, 1990). Το προηφαιστειακό γεωλογικό υπόβαθρο ανήκει στην Αττικο-Κυκλαδική Μάζα (Fytikas et al., 1989c; Fytikas et al., 1990a) και περιλαμβάνει κυρίως μεταμορφωμένες φυλλιτικές σειρές του Ανώτερου Ιουρασικού-Κατώτερου Κρητιδικού και ανακρυσταλλωμένους ασβεστολίθους μεγάλου πάχους (Papastamatiou, 1958; Fytikas et al., 1990a). Έχουν επίσης βρεθεί χαμηλής μεταμόρφωσης κροκαλοπαγή και ψαμμίτες του Κατώτερου Τριτογενούς, καθώς και μικρές επιφανειακές εμφανίσεις γλαυκοφανιτικών σχιστολίθων στην περιοχή του Αθηνιού και των Θερμίων που έχουν επηρεαστεί από μια πρόσφατη γρανιτική διείσδυση (Skarpelis & Liati, 1990).

Η μετα-αλπική ηφαιστειακή δραστηριότητα ξεκίνησε κατά το κατώτερο Τεταρτογενές στην περιοχή του Ακρωτηρίου και στα νησιά των Χριστιανών. Η πιο γνωστή καταστροφική έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης ήταν η λεγόμενη «Μινωική» που έλαβε χώρα πριν από 3600 χρόνια και κατέστρεψε τον ομώνυμο πολιτισμό αλλά και ολόκληρο σχεδόν το νησί της Σαντορίνης. Η μετα-Μινωϊκή δραστηριότητα περιορίστηκε σχεδόν αποκλειστικά μέσα στην καλδέρα (Fytikas et al., 1990b), με εξαίρεση την δραστηριότητα του 1650 μ. Χ. στην περιοχή του Κολούμπο. Τα νησάκια της Παλαιάς και Νέας Καμμένης δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια πολύ πρόσφατης (~197 π.Χ.) δραστηριότητας (Francalanci et al., 2007).

Από τεκτονική άποψη, κυριαρχούν τα ρήγματα BA-NΔ διεύθυνσης, που ακολουθούν το ενεργό εφελκυστικό καθεστώς του κεντρικού Αιγαίου και τις τεκτονικές γραμμές του Κολούμπο και της Καμένης, και κατά δεύτερο λόγο τα μικρότερα A-Δ και B-N κανονικά ρήγματα (Εικόνα 11).

Οι γεωτεκτονικές και μαγματικές συνθήκες στη Σαντορίνη συνιστούν ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη σημαντικής γεωθερμικής και υδροθερμικής δραστηριότητας, που αποδεικνύεται από την ύπαρξη πολλών θερμών πηγών πάνω στη Σαντορίνη (32-56°C), θερμών πηγών και ατμίδων στα νησάκια Παλαιά και Νέα Καμένη (έως 97°C) καθώς και από τις πολύ θερμές υποθαλάσσιες πηγές στον πυθμένα της καλδέρας του Κολούμπο με θερμοκρασίες που προσεγγίζουν τους 225°C (NOAA Ocean Explorer, Thera 2006 Expedition Summary).



Εικόνα 11: Γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Papachristou et al., 2014, τροποποίηση από Francalanci et al., 2005)

Οι πρώτες γεωθερμικές έρευνες πραγματοποιήθηκαν στη Σαντορίνη από το ΙΓΜΕ στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Διαπιστώθηκε η ύπαρξη μιας σχετικά εκτεταμένης γεωθερμικής ανωμαλίας στο νότιο τμήμα του νησιού, εντός ή πολύ κοντά στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Αντίθετα, το βόρειο τμήμα δεν χαρακτηρίζεται από αντίστοιχο γεωθερμικό ενδιαφέρον (Fytikas et al., 1990a). Η γεωθερμική ανωμαλία αποδίδεται στο τεκτονικό βύθισμα διεύθυνσης B-N και τη δράση των ρηγμάτων στο ανατολικό και δυτικό περιθώριο σε συνδυασμό με τη δράση των ρηγμάτων που έχουν διεύθυνση παράλληλη στη γραμμή της Καμένης (Fytikas et al., 1990a). Το ΙΓΜΕ πραγματοποίησε συνολικά (11) ερευνητικές, γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου, εκ των οποίων οι (9) στην περιοχή μεταξύ Ακρωτηρίου-Μεγαλοχωρίου-Περίσσας-Βλυχάδα σε βάθη μεταξύ 138 και 182 m. Η γεωθερμική βαθμίδα που μετρήθηκε ήταν 4,7°C/100m στις περιοχές Ακρωτήρι και βόρεια του Εμπορείου, 9,2°C/100m στη θέση Φανάρι, κοντά στο Ακρωτήρι, και 15,7°C/100m στο Μεγαλοχώρι (Fytikas, 1990c).

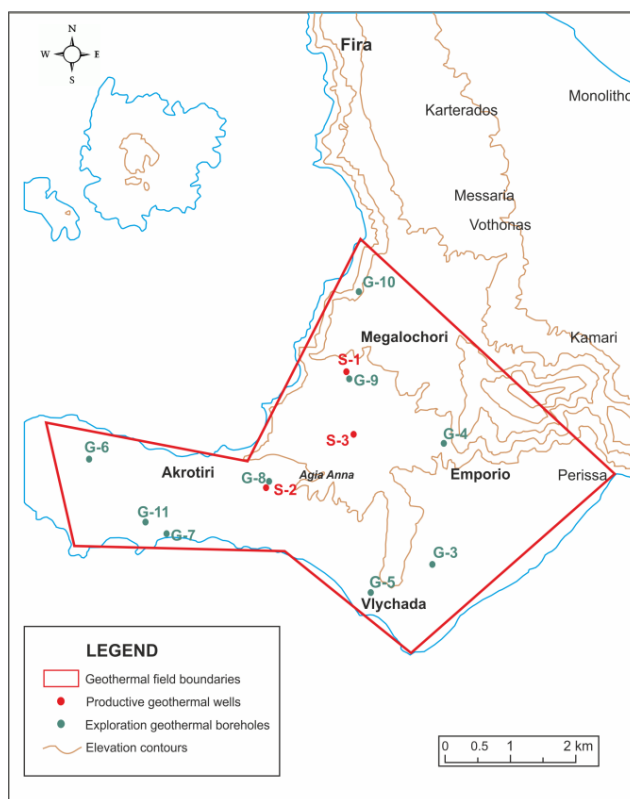
Με βάση τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής έρευνας, το 1985 το ΙΓΜΕ προχώρησε στη διάνοιξη τριών βαθύτερων γεωθερμικών γεωτρήσεων (S-1, S-2 και S-3). Η μεγαλύτερη θερμοκρασία μετρήθηκε κοντά στον πυθμένα της S-1, σε βάθος 240m και ήταν 64°C (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Γεωθερμικές γεωτρήσεις στη Σαντορίνη (Papachristou et al., 2014a)

Γεώτρηση	Συνολικό Βάθος (m)	Θερμοκρασία/βάθος	Γεωθερμική Βαθμίδα (°C/100m)
S-1	270	64.7°C (240m)	16
S-2	460	52.3°C (440m)	13
S-3	260	51.2°C (260m)	10.5

Τα χημικά γεωθερμόμετρα SiO_2 , Na-K-Ca και Na/K υπέδειξαν αρχική θερμοκρασία στον ταμιευτήρα 160-190°C, 130°C και 140°C, αντίστοιχα (Fytikas et al., 1990a). Σύμφωνα με τα γεωλογικά, γεωχημικά και θερμομετρικά δεδομένα για την περιοχή του γεωθερμικού πεδίου, σε βάθη 800-1000m μέσα στις έντονες τεκτονισμένες ζώνες ασβεστολίθων ή σχιστολίθων του υποβάθρου, αναμένονται ρευστά θερμοκρασίας περίπου 140°C, κάτι που μένει να αποδειχθεί όταν και αν γίνουν γεωτρήσεις σε αυτά τα βάθη (Papachristou et al., 2016).

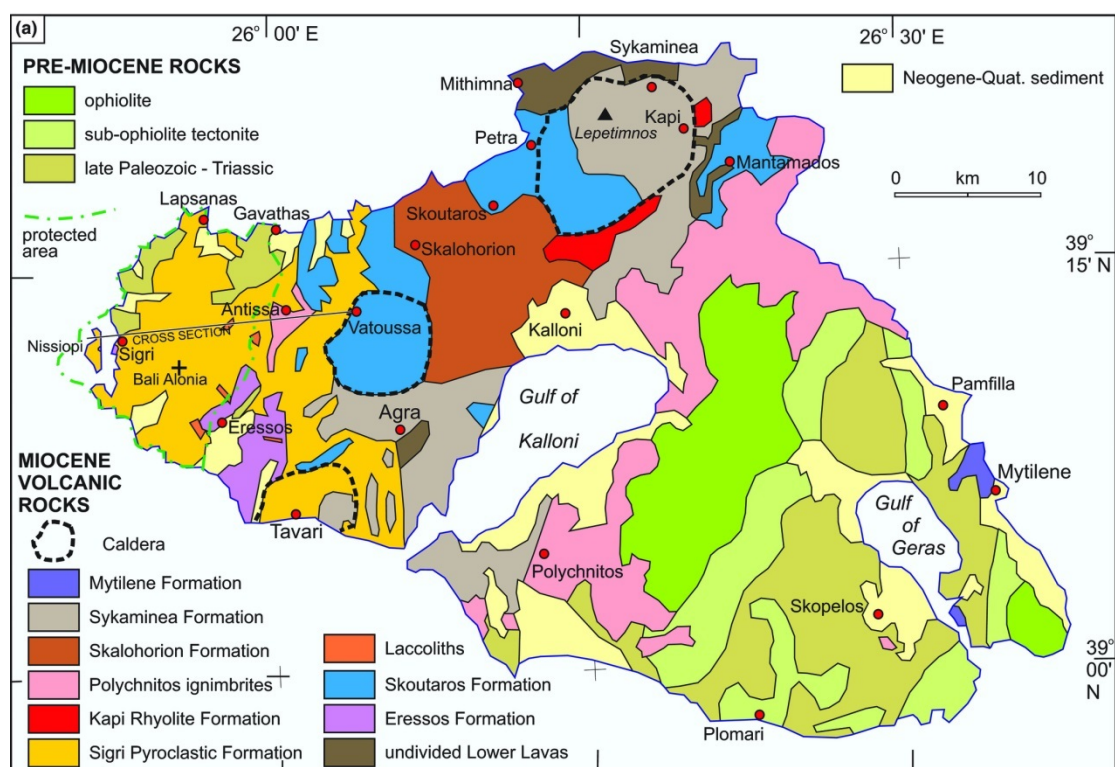
Η γεωθερμική έρευνα οδήγησε στην οριοθέτηση της περιοχής μεταξύ Ακρωτηρίου-Βλυχάδας-Περίσας-Μεγαλοχωρίου (Εικόνα 12) ως ζώνη γεωθερμικής ανωμαλίας, η οποία κατατάχθηκε ως «πιθανό» πεδίο χαμηλής ενθαλπίας. Με βάση τη σημερινή νομοθεσία, το πεδίο αυτό χαρακτηρίζεται ως «τοπικού» ενδιαφέροντος.



Εικόνα 12: Γεωθερμικό πεδίο τοπικού ενδιαφέροντος (χαμηλής θερμοκρασίας) της Σαντορίνης (ΓΓΜΕ, 2007; Papachristou et al., 2016a)

3.2.6 Λέσβος

Η Λέσβος αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και βρίσκεται στο βορειοανατολικό Αιγαίο, στο νότιο τμήμα της τεκτονικής Τάφρου του Βορείου Αιγαίου. Από γεωλογική άποψη, η Λέσβος δομείται από προαλπικά και αλπικά πετρώματα που καταλαμβάνουν ολόκληρο το νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού και έχουν μικρές εμφανίσεις στις υπόλοιπες περιοχές (Εικόνα 13). Στο βόρειο, το δυτικό και το κεντρικό τμήμα της Λέσβου κυριαρχούν οι νεογενείς ηφαιστειακοί σχηματισμοί και τα μετα-αλπικά ιζήματα (Θωμαΐδου, 2009). Τα πετρώματα του μεταμορφωμένου Περμοτριάδικου υποβάθρου είναι κυρίως σχιστόλιθοι, φυλλίτες, μάρμαρα και μετα-ψαμμίτες, οφιολιθικές σειρές, ενώ τα Ολιγο-Μειοκαινικά ηφαιστειακά, καλύπτουν πάνω από την μισή έκταση του νησιού (Fytikas et al., 1999). Η απόθεση των νεότερων Πλειοκαινικών αποθέσεων, που ακολούθησε την ηφαιστειακή δραστηριότητα, αφορά σε μαρμαρυγιακούς ασβεστόλιθους με ενστρώσεις ψαμμιτών, κροκαλοπαγή, μάργες και αργίλους.



Εικόνα 13: Γεωλογικός χάρτης της Λέσβου (Pe-Piper et al., 2019)

Όσον αφορά στην τεκτονική της δομή, έχουν αναγνωριστεί τρία κύρια συστήματα ρηγμάτων, ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ διεύθυνσης. Το τελευταίο σύστημα είναι ακόμη ενεργό και φαίνεται ότι επηρεάζει σημαντικά την κυκλοφορία των θερμών ρευστών στο υπέδαφος (Fytikas et al., 1989b).

Η γεωθερμική δραστηριότητα στη Λέσβο συνδέεται με τις γεωτεκτονικές συνθήκες του Βορείου Αιγαίου, τη λέπτυνση του φλοιού στις οπισθοτόξες περιοχές και την ενεργό εφελκυστική τεκτονική.

Η προκαταρκτική γεωθερμική έρευνα στη Λέσβο ξεκίνησε ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 (Fytikas et al., 1989b) και συνεχίστηκε και κατά τις επόμενες δεκαετίες από το ΙΓΜΕ, την ENEL (Ente Nazionale Energia Elettrica-Italy) και τη ΔΕΗ. Περιελάμβανε γεωλογική χαρτογράφηση, αποτύπωση επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας, θερμομετρήσεις, ερευνητικές γεωτρήσεις κλπ. Πολυάριθμες θερμές πηγές αναβλύζουν στο νησί, με θερμότερες αυτές στην περιοχή του Πολιχνίτου, όπου η θερμοκρασία τους προσεγγίζει τους 90°C, και στην παράκτια περιοχή της Αργένου (86°C). Οι μετρήσεις θερμοκρασίας που έγιναν σε (60) προϋπάρχουσες υδρογεωτρήσεις (Σφέτσος, 1985) και σε (12) γεωτρήσεις θερμοβαθμίδας, έδειξαν ότι η γεωθερμική βαθμίδα είναι δεκαπλάσια της μέσης γήινης στην περιοχή του Πολιχνίτου και πενταπλάσια ως δεκαπλάσια στην περιοχές Πέτρας-Αργένου και Καλλονής-Στύψης (Fytikas et al., 1988).

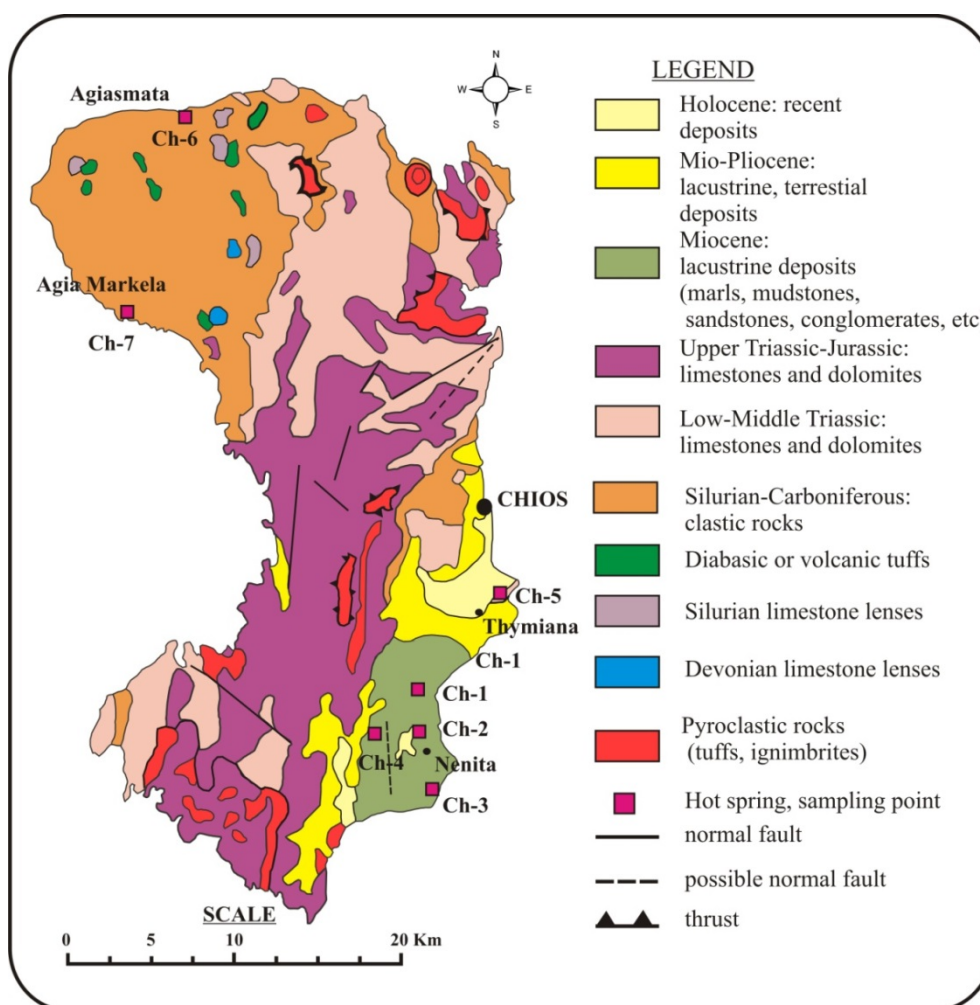
Η εφαρμογή γεωθερμομέτρων (Na/K, Ca/K, Na-K-Ca, Na-K-Ca-Mg, K/Mg, quartz) σε πολυάριθμα δείγματα από όλο το νησί, έδειξε πολύ υψηλές αρχικές θερμοκρασίες (στον ταμιευτήρα) που υπερβαίνουν κατά πολύ τους 100°C (έως 192°C). Οι υψηλότερες από αυτές, υπολογίστηκαν για τις περιοχές του Πολιχνίτου, του Λισβορίου και της Αργένου (Fytikas et al., 1988). Η γεωθερμομετρία αερίων έδειξε θερμοκρασίες 160-165°C στον Πολιχνίτο και το Λισβόρι και περίπου 210°C στην Άργενο (Fytikas et al., 1989b).

Τη δεκαετία του 1980, διανοίχθηκαν πέντε παραγωγικές γεωθερμικές γεωτρήσεις βάθους 150m στην περιοχή του Πολιχνίτου. Η θερμοκρασία του νερού ήταν 70-95°C και η συνολική παροχή μεγαλύτερη από 100 l/sec. Θερμό νερό των 70°C παραγόταν από παραγωγικές γεωτρήσεις στην περιοχή Στύψης-Καλλονής.

Όπως προαναφέρθηκε, η ΔΕΗ πραγματοποίησε εκτεταμένο πρόγραμμα γεωθερμικών ερευνών στη Λέσβο, με τελικό στόχο την εύρεση και αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών κατάλληλων για ηλεκτροπαραγωγή. Σε πρώτη φάση, τη δεκαετία του 1990, διανοίχθηκαν (9) ρηχές γεωτρήσεις στην περιοχή της Στύψης και της Αργένου, όπου μετρήθηκαν θερμοκρασίες 92°C και 86°C, αντίστοιχα, σε βάθη 200m. Το επόμενο βήμα ήταν τρεις βαθύτερες γεωτρήσεις, έως 600m, οι οποίες επιβεβαίωσαν τα παραπάνω αποτελέσματα (Fytikas et al., 1995).

3.2.7 Χίος

Η Χίος αποτελεί εδώ και πολλές δεκαετίες μια περιοχή ιδιαίτερου γεωθερμικού ενδιαφέροντος. Από γεωτεκτονική άποψη ανήκει στην Υπο-πελαγονική ζώνη (Μουντράκης, 2010). Το παλαιοζωϊκό υπόβαθρο εμφανίζεται επιφανειακά στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού (Εικόνα 14) και αποτελείται από προ-αλπικούς κλαστικούς και ανακρυσταλλωμένους σχηματισμούς (μάργες, ασβεστόλιθους, γραουβάκες, ψαμμίτες κλπ), τα οποία διακόπτονται από ηφαιστειακά πετρώματα του Κατώτερου Λιθανθρακοφόρου (Dotsika et al., 2006).



Εικόνα 14: Γεωλογικός χάρτης της Χίου (Papachristou et al., 2014, τροποποίηση από Kavouridis et al., 2009)

Το μεγαλύτερο τμήμα της Χίου καλύπτεται κυρίως από μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους και δολομίτες (Εικόνα 11), ενώ το νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού συνιστά μια ιζηματογενή λεκάνη με νεογενή πετρώματα (Kavouridis et al., 2009). Οι ηφαιστειακοί σχηματισμοί (εκχύσεις λάβας με όξινη έως βασική σύσταση και ηφαιστειακά κέντρα), με ηλικία περίπου 15 εκ. έτη (Κατώτερο - Μέσο Μειόκαινο), εντοπίζονται στο βόρειο και στο νότιο τμήμα του νησιού. Η ηφαιστειότητα στη Χίο

προηγήθηκε της ιζηματογένεσης του Μειοκαίνου και πιθανότατα συνδέεται με την έναρξη της εφελκυστικής φάσης στην ευρύτερη περιοχή και τη δημιουργία εκτεταμένων και μεγάλου βάθους ρηγμάτων που διευκόλυναν την άνοδο του μάγματος (Dotsika et al., 2006; Kanouridis et al., 2009). Τα πιο πρόσφατα ιζήματα του Τεταρτογενούς καλύπτουν τις πεδινές περιοχές της Χίου και αποτελούνται από παράκτιες και ποταμο-χερσαίες αποθέσεις.

Η γεωθερμική δραστηριότητα στη Χίο συνδέεται με τη λέπτυνση του φλοιού, την άνοδο του μάγματος και τη δράση πρόσφατων και ενεργών ρηγμάτων που επιτρέπουν την κυκλοφορία θερμών ρευστών και την παρουσία γεωθερμικών ταμιευτήρων κοντά στην επιφάνεια. Η νοτιανατολική πλευρά της Χίου, όπου παρατηρείται και η εντονότερη γεωθερμική ανωμαλία, χαρακτηρίζεται από ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ συστήματα ρηγμάτων που επηρέασαν τα νεογενή ιζήματα.

Στη βόρεια Χίο, αναβλύζουν οι υφάλμυρες θερμές πηγές στη θέση Αγιάσματα και Αγία Μαρκέλα, με θερμοκρασίες 54°C και 53°C, αντίστοιχα, ενδεικνύοντας την ύπαρξη ενός σχετικά ρηχού γεωθερμικού συστήματος. Πρόκειται όμως για μια περιοχή που δεν έχει ερευνηθεί ακόμη διεξοδικά.

Συστηματική γεωθερμική έρευνα πραγματοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ στη νοτιανατολική Χίο τη δεκαετία του 1990 (Fytikas et al., 2000), και συγκεκριμένα στην περιοχή των Νένητων. Ανορύχθηκαν πέντε ερευνητικές γεωτρήσεις, οι οποίες συνάντησαν τον ταμιευτήρα σε βάθος 300-400m και βρήκαν ρευστά με μέγιστη θερμοκρασία τους 90°C. Εκείνη την εποχή προγραμματίστηκε επίσης η κατασκευή μιας βαθύτερης παραγωγικής γεώτρησης για τη μελέτη των υδραυλικών και θερμικών παραμέτρων του ταμιευτήρα.

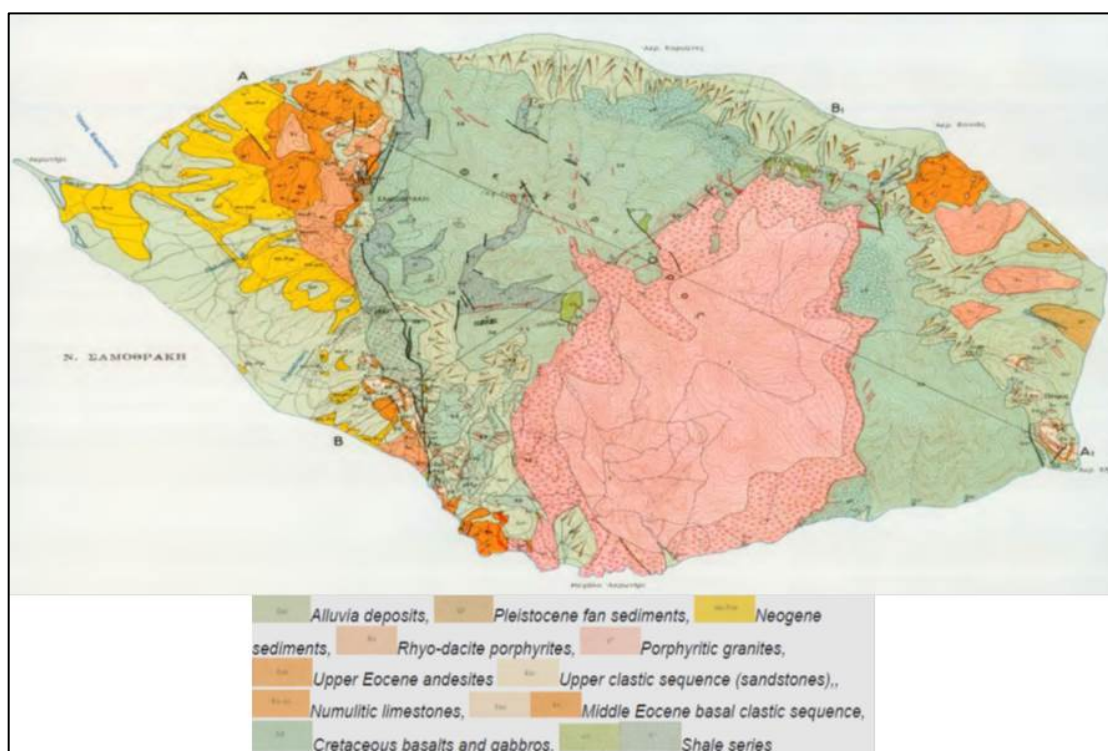
3.2.8 Σαμοθράκη

Η Σαμοθράκη αποτελεί ένα σχετικά μικρό νησί του βορειοανατολικού Αιγαίου (Θρακικό Πέλαγος), με συνολική έκταση 178 km². Από γεωλογική άποψη, ανήκει στην Περιοδοπική ζώνη (Kaufmann et al, 1976) και τα πετρώματα που κυρίως συναντώνται (Εικόνα 15) είναι γρανίτες, οφειόλιθοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι και χαλαζίτες, καθώς και ηφαιστειακά πετρώματα που αποτελούν τμήμα της τριτογενούς ηφαιστειότητας του Βορείου Αιγαίου (Kolios et al, 2007).

Το γεωλογικό υπόβαθρο συνίσταται σε χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα (μετα-κροκαλοπαγή, χαλαζίτες, ασβεστόλιθους, κλπ), πάνω από τους οποίους βρίσκονται οφειόλιθοι ηλικίας Ηωκαίνου. Οι σχηματισμοί αυτοί τοπικά

τέμνονται από παρεμβολές δολεριτών. Η ενότητα των οφειολίθων καλύπτεται από νηριτικά κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα του Ηωκαίνου. Το κεντρικό τμήμα του νησιού καταλαμβάνεται από μια μεγάλη γρανιτική διείσδυση καινοζωϊκής ηλικίας, που προκάλεσε φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής τόσο στους σχηματισμούς του υποβάθρου, όσο και στους οφειολίθους (Kolios et al., 2007) Καινοζωϊκής ηλικίας. Τα ηφαιστειακά πετρώματα εμφανίζονται στις περιφερειακές περιοχές του νησιού, ενώ τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα πάχους έως 150m αποτελούνται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους, μάργες, άμμους κλπ (Kolios et al., 2007).

Οι τεκτονικές δομές που κυριαρχούν στη Σαμοθράκη είναι: α) ένα παράκτιο, νοτιοανατολικής διεύθυνσης, ρήγμα που αποτελεί κλάδο του μεγάλου ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας –Βορείου Αιγαίου (Kolios et al., 2007) και ευθύνεται για τις απόκρημνες πλαγιές και το απότομο ανάγλυφο του νησιού, και β) ένα κανονικό ρήγμα που εκτείνεται σχεδόν παράλληλα με τις βόρειες ακτές του νησιού, έχει μήκος 14 Km και συνδέεται με τις επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας και την ανάπτυξη γεωθερμικής ανωμαλίας.



Εικόνα 15: Γεωλογικός χάρτης της Σαμοθράκης (Mendrinou et al., 2010)

Στο νησί υπάρχουν πολλές θερμές πηγές με θερμοκρασίες από 35°-58°C (Kolios et al., 2007). Οι πιο γνωστές βρίσκονται στα Θερμά, όπου λειτουργούν ιαματικά λουτρά, και στα Ψαροθέρμα. Τα θερμά νερά προέρχονται από κάποιον βαθύ ταμιευτήρα και ανέρχονται στην επιφάνεια μέσω μεγάλου βάθους ανοικτών

ρηγμάτων ή κατά μήκος διασταύρωσης διαφορετικών συστημάτων ρηγμάτων (Kolios et al., 2007).

Η γεωθερμική διερεύνηση της Σαμοθράκης ξεκίνησε στη δεκαετία του 1990, κατά τη διάρκεια της οποίας πραγματοποιήθηκαν κοντά στην περιοχή των Θερμών τρεις (3) ρηχές γεωτρήσεις: S-1, S-2 και S-3 (Angelidis, 1998) σε βάθη 120m οι δύο πρώτες και 40m η S-3. Οι γεωτρήσεις παρήγαγαν γεωθερμικά ρευστά μεγάλης παροχής και με θερμοκρασία γύρω στους 100°C (Kolios et al., 2007). Τα θερμά νερά είναι τύπου Na-Cl (Kolios et al., 2007) με υψηλή αλατότητα (Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων έως 31g/l) και πλούσια σε Na, Cl, Ca, Li, Sr, SiO₂, B, Br και I. Η αρχική τους θερμοκρασία, με βάση τα γεωθερμόμετρα SiO₂, Na/K, Na-K-Ca και Na-Li, εκτιμήθηκε από 140 έως 250°C. Πολύ υψηλές θερμοκρασίες (>200°C) έδειξε και το ισοτοπικό γεωθερμόμετρο O¹⁸(SO₄²⁻-H₂O).

3.2.9 Σουσσάκι (Κεντρική Ελλάδα)

Το γεωθερμικό πεδίο Σουσσακίου βρίσκεται στο ΝΔ άκρο του Ενεργού Ηφαιστειακού Τόξου του Νοτίου Αιγαίου, κοντά στον Κορινθιακό Κόλπο. Γεωλογικά, η περιοχή δομείται από Πλειο-Τεταρτογενείς λιμναίες αποθέσεις, οφιόλιθους του Ανώτερου Ιουρασικού, κλαστικούς σχηματισμούς του Ανώτερου Κρητιδικού-Μέσου Ιουρασικού, καθώς και μια σειρά ασβεστολιθικών και δολομιτικών σχηματισμών του Κατώτερου Ιουρασικού-Τριαδικού (Fytikas et al., 1995).

Η γεωθερμική έρευνα και η ανόρυξη γεωτρήσεων ολοκληρώθηκε το 1992. Περιελάμβανε αρκετές μικρής διαμέτρου γεωτρήσεις για μέτρηση της θερμοβαθμίδας, πέντε (5) ρηχές (<200m) ερευνητικές γεωτρήσεις που έγιναν το 1988 και τέσσερις (4) ρηχές παραγωγικές γεωτρήσεις σε βάθη 110-200m (1989-1991). Το 1992 έγιναν δύο βαθιές παραγωγικές γεωτρήσεις (S1 και S3) που έφτασαν σε βάθος 900m και 1080m, αντίστοιχα (Fytikas et al., 1995).

Στο πεδίο αναπτύσσονται δύο θερμοί υδροφορείς. Ο πρώτος βρίσκεται σε βάθος 50-200m με θερμοκρασία 60-76°C και ο δεύτερος σε βάθος 600-900m, με ρευστά πλούσια σε αέρια (CO₂ και H₂O), θερμοκρασίας 75°C. Η καλά ερευνημένη περιοχή έχει έκταση 3 km², και κατατάχθηκε στα βεβαιωμένα πεδία χαμηλής ενθαλπίας (τοπικού ενδιαφέροντος) (ΠΜΕ, 2007).

3.2.10 Λεκάνη Στρυμόνα (Σερρών)

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Στρυμόνα είναι διασυνοριακή, με τις βορειότερες περιοχές της να ανήκουν στη Βουλγαρία και στη Βόρεια Μακεδονία. Το το ελληνικό της τμήμα αποτελεί περίπου το 40% της συνολικής της έκτασης (17.150 km²) και ανήκει διοικητικά στην Περιφερειακή Ενότητα Σερρών (Εικόνα 16). Εκτείνεται ανάμεσα στους ορεινούς όγκους της Σερβομακεδονικής Μάζας στα δυτικά και της ορεινής μάζας της Ροδόπης στα ανατολικά. Πρόκειται για μία εξαιρετικά ενδιαφέρουσα από γεωθερμική άποψη τεκτονική λεκάνη της βόρειας Ελλάδας, όπου η πολύχρονη γεωθερμική έρευνα αποκάλυψε την παρουσία σημαντικών γεωθερμικών συστημάτων και την ύπαρξη πολλών γεωθερμικών πεδίων.

Στο ανατολικό περιθώριο της λεκάνης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί αποτελούνται από μάρμαρα, γνεύσιους και σχιστόλιθους ενώ στα δυτικά, στην επαφή με τη Σερβομακεδονική Μάζα, υπάρχουν μάρμαρα στα χαμηλότερα στρώματα και σχιστόλιθοι, γνεύσιοι και αμφιβολίτες στα ανώτερα, καθώς και νεότερες διεισδύσεις γρανιτικών σωμάτων. Στο κέντρο της λεκάνης, αποτέθηκαν ιζήματα ηλικίας Νεογενούς–Τεταρτογενούς (εναλλαγές ψαμμιτών, αργίλων, μαργών και ασβεστολίθων) με πολύπλοκη στρωματογραφία και πάχος που πιθανώς φτάνει τα 4000m (Syrides, 2000).

Η εφελκυστική τεκτονική της περιοχής είναι έντονη και περιλαμβάνει την ύπαρξη αρκετών ενεργών ρηγμάτων BBA-NNA, BBA-NNΔ, BA-ΝΔ, ΔBA-ABA και A-Δ διεύθυνσης (Kolios et al., 2007). Η παρουσία τους ευνοεί την κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών και την άνοδο τους προς την επιφάνεια ενώ σε συνδυασμό με την αυξημένη θερμική ροή λόγω των γρανιτικών διεισδύσεων και την ύπαρξη κατάλληλου γεωλογικού καλύμματος από τα νεότερα ιζήματα, δημιουργούνται πολύ ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη γεωθερμικών συστημάτων.

Οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών που έχουν βρεθεί μέχρι στιγμής σε σχετικά μικρά βάθη (έως 700m) κυμαίνονται από 40°C έως 74°C. Τα νερά είναι χαμηλής αλατότητας και μάλιστα στη Νιγρίτα είναι πλούσια σε CO₂ (Kolios et al., 2007).

Οι θερμές επιφανειακές εκδηλώσεις εντοπίζονται κατά βάση στα περιθώρια της λεκάνης (πχ. πηγές Σιδηροκάστρου, Αγίας Βαρβάρας, Αγκίστρου, κλπ). Στο κεντρικό τμήμα του βυθίσματος, διανοίχθηκαν τρεις μεγάλου βάθους ερευνητικές γεωτρήσεις για υδρογονάνθρακες (STR-1, STR-2 και STR-3) στις οποίες έγιναν και θερμομετρήσεις. Η STR-1 έφτασε σε βάθος 3651m και μετρήθηκαν θερμοκρασίες

57-135° C, η STR-2 έφτασε στα 2678 m και η θερμοκρασία της κυμάνθηκε από 59 ως 89° C και η STR-3 είχε βάθος 3144 m και έδωσε θερμοκρασίες 64-96°C (Kolios et al., 2007). Κοντά στην πόλη των Σερρών, πραγματοποιήθηκαν άλλες δύο γεωτρήσεις, οι SG-1 και SG-2 σε βάθος 500m, των οποίων οι θερμοκρασίες ήταν πολύ χαμηλές, 21°C η πρώτη και 17,8°C αντίστοιχα (Karydakis et al., 2005).

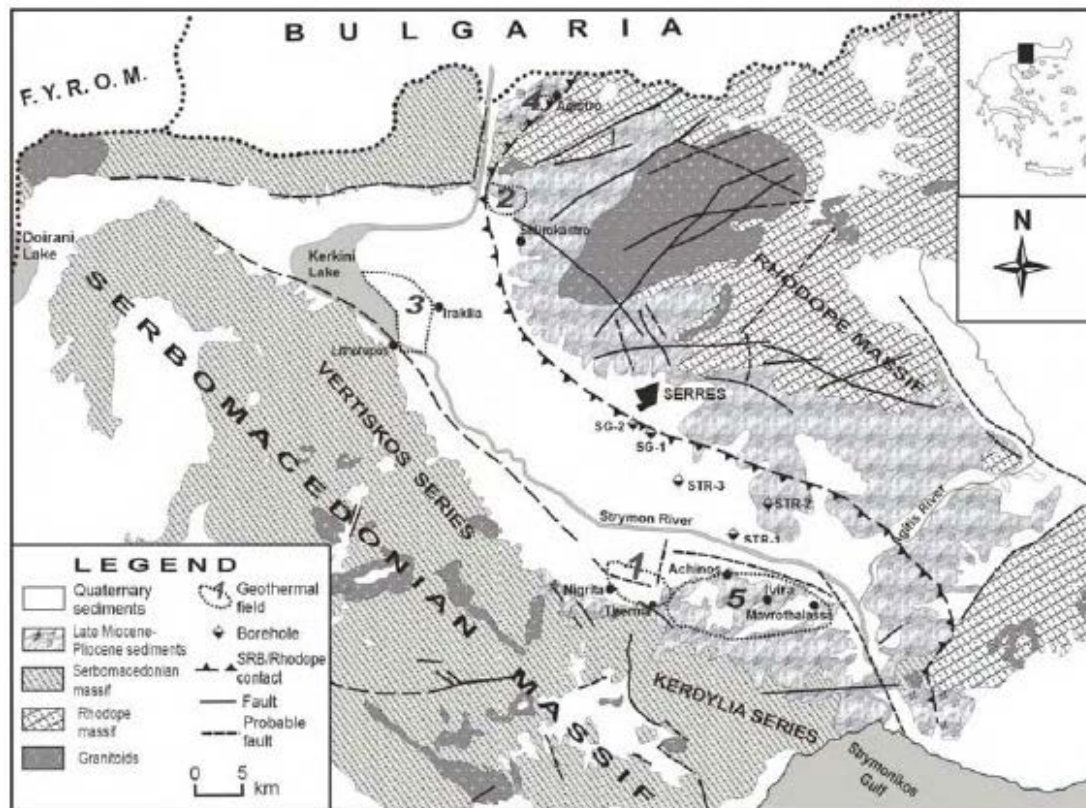
Η γεωθερμική έρευνα στη λεκάνη των Σερρών ξεκίνησε το 1979 (Καρυδάκης κ.α, 1999), και συνεχίζεται μέχρι σήμερα, με σκοπό την καλύτερη γνώση των γεωθερμικών συνθηκών της περιοχής. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1990, διερευνήθηκαν με λεπτομέρεια οι περιοχές Αγκίστρου, Θερμών Νιγρίτας και Σιδηροκάστρου και οριοθετήθηκαν τα ομώνυμα γεωθερμικά πεδία. Επίσης έγιναν ερευνητικές γεωτρήσεις στην περιοχή Λιθότοπου - Ηράκλειας και έρευνας-παραγωγής στην περιοχή Αχινού-Ιβήρων με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Τα γεωθερμικά πεδία της λεκάνης των Σερρών (Εικόνα 16) κατατάσσονται στην κατηγορία των πεδίων χαμηλής ενθαλπίας ή τοπικού ενδιαφέροντος. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται ανά πεδίο οι ερευνητικές δραστηριότητες έως το 2000.

Γεωθερμικό πεδίο Θερμών Νιγρίτας

Βρίσκεται στο κεντρο-δυτικό τμήμα της λεκάνης (Εικόνα 16) και ήταν το πρώτο που ερευνήθηκε από το ΙΓΜΕ στη λεκάνη των Σερρών. Καλύπτει έκταση 10 km² (περιοχή βεβαιωμένης γεωθερμικής ανωμαλίας). Μεταξύ 1979 και 1992, έγιναν οκτώ (8) γεωτρήσεις, ενώ την πενταετία 1995-1999 άλλες επτά. Η μέγιστη θερμοκρασία ρευστών είναι 64°C. Ο κύριος γεωθερμικός ταμιευτήρας εντοπίστηκε σε βάθη 70 ως 500m (ανάλογα με τη θέση της γεώτρησης), μέσα στο κροκαλοπαγές βάσης. Το πάχος του είναι κυμαινόμενο (20 ως 65m) και οι περισσότερες γεωτρήσεις παρουσιάζουν αρτεσιανισμό. Χαμηλότερης θερμοκρασίας (25-35°C) υδροφορία εντοπίστηκε και σε μικρότερα βάθη, εντός των νεογενών ιζημάτων του γεωλογικού καλύμματος, το οποίο στην περιοχή του συγκεκριμένου πεδίου έχει πάχος από 100-300m (Karydakis et al., 2005). Η γεωθερμική ανωμαλία στην περιοχή συνδέεται με την παρουσία ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ ρηγμάτων και τη διασταύρωσή τους ακριβώς βόρεια του οικισμού των Θερμών, η οποία επιτρέπει την εύκολη και ταχεία άνοδο των θερμών ρευστών προς την επιφάνεια. Χαρακτηριστικό του πεδίου των Θερμών Νιγρίτας είναι η μεγάλη περιεκτικότητα των ρευστών σε CO₂. Με βάση την εφαρμογή χημικών και ισοτοπικών γεωθερμομέτρων, οι αρχικές θερμοκρασίες των

ρευστών εκτιμώνται περίπου στους 130-140°C, κάτι που συμφωνεί και με τις θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στον πυθμένα της γεώτρησης STR-1.



Εικόνα 16: Γεωθερμικά πεδία λεκάνης Στρυμόνα: 1:Θερμά-Νιγρίτα, 2: Σιδηρόκαστρο, 3: Λιθότοπος -Ηρακλεια, 4: Άγκιστρο, 5: Αχινός-Ιβηρα-Μαυροθάλασσα (Καρυδάκης κ.α., 2005)

Γεωθερμικό πεδίο Σιδηροκάστρου

βρίσκεται σε απόσταση περίπου 30km ΒΒΔ της πόλης των Σερρών, στο ΒΑ περιθώριο της λεκάνης (Εικόνα 16). Η έκτασή του είναι 14 km². Η γεωθερμική έρευνα απέδειξε την ύπαρξη δύο σημαντικών ταμιευτήρων: (α) ενός πολύ ρηχού (10-50m βάθους), ελεύθερου θερμού υδροφορέα, που αναπτύσσεται μέσα σε τραβερτίνες και η θερμοκρασία του κυμαίνεται από 40 ως 65°C, και (β) ενός βαθύτερου (100-450m) που αναπτύσσεται στην οροφή του μεταμορφωμένου υποβάθρου με θερμοκρασίες 40-75°C και μερικό αρτεσιανισμό (Karydakis et al., 2005). Με βάση τις χημικές τους αναλύσεις, τα γεωθερμικά ρευστά κατατάσσονται στην κατηγορία των Na,Ca-HCO₃ νερών, χαμηλής αλατότητας. Τα χημικά γεωθερμόμετρα SiO₂, Na/K, Na-K-Ca, Na-Li, K/M και Mg/Li εκτιμούν θερμοκρασίες της τάξης των 100°C σε μεγαλύτερα βάθη. Την περίοδο 1995-1999 έγιναν επιπρόσθετες έρευνες στο

βόρειο τμήμα του πεδίου, με την ανόρυξη μίας ερευνητικής και μίας παραγωγικής γεώτρησης. Η τελευταία διέτρησε τον βαθύ υδροφόρο που βρίσκεται μέσα σε μάρμαρα του υποβάθρου με θερμοκρασία 75°C.

Γεωθερμικό πεδίο Αγκίστρου

Καταλαμβάνει έκταση 4 km² στο βορειοδυτικό περιθώριο της λεκάνης των Σερρών, ακριβώς στο τεκτονικό όριο μεταξύ της Σερβομακεδονικής και Ροδοπικής Μάζας. Η ύπαρξη πολλών θερμών πηγών στην ευρύτερη περιοχή Αγκίστρου ήταν ο βασικός λόγος για την έναρξη συστηματικής γεωθερμικής έρευνας. Το ΙΓΜΕ έκανε στην περιοχή πέντε (5) ερευνητικές και μία παραγωγική γεώτρηση σε βάθη 100-300m. Διαπιστώθηκε η παρουσία δύο θερμών ταμιευτήρων: σε βάθη έως 50m βρίσκεται ο ρηχός και μεταξύ 70-130m ο βαθύτερος υδροφορέας, οι οποίοι επικοινωνούν υδραυλικά μεταξύ τους. Ο κατώτερος γεωθερμικός ταμιευτήρας εντοπίστηκε μέσα στο τεκτονισμένο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Μάζας της Ροδόπης. Η απουσία ενός καλού αδιαπέρατου γεωλογικού καλύμματος που να προστατεύει το γεωθερμικό σύστημα, επιτρέπει τη διάχυση της θερμότητας προς την επιφάνεια αλλά και την ανάμιξη των θερμών ρευστών με ψυχρά μετεωρικά νερά και επιφανειακούς υδροφόρους, με αποτέλεσμα την παρουσία σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών στην περιοχή (40-47°C). Τα γεωθερμικά ρευστά είναι πολύ καλής ποιότητας (Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων 0,25-0,5 g/l) και κατατάσσονται στην κατηγορία των Na-HCO₃SO₄ νερών (Karydakis et al., 2005). Με βάση τα χημικά γεωθερμόμετρα SiO₂, Na/K, Na-K-Ca, Na-Li, K/M και Mg/Li, η αρχική θερμοκρασία των ρευστών εκτιμάται από 60°C έως 100°C (Αρβανίτης, 1998).

Γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου-Ηράκλειας

Βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο της λεκάνης των Σερρών, νότια της λίμνης Κερκίνης. Γεωλογικά, ανήκει στη Σερβομακεδονική Μάζα (Σειρά Βερτίσκου). Η γεωθερμική έρευνα ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 από το ΙΓΜΕ και περιελάμβανε την ανόρυξη δέκα (10) ερευνητικών γεωτρήσεων (1982-83). Το αποτέλεσμα των ερευνών ήταν η οριοθέτηση μιας περιοχής γεωθερμικής ενδιαφέροντος έκτασης 15 km². Οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν μέσα σε ψαμμίτες και κροκαλοπαγή (300-450m), πολύ κοντά στο υπόβαθρο, κυμάνθηκαν από 40 έως 62°C. Η μέση γεωθερμική βαθμίδα είναι 23-107°C/km. Η σημαντική γεωθερμική ανωμαλία στο πεδίο του Σιδηροκάστρου αναπτύσσεται κατά έναν ΒΔ-ΝΑ άξονα, που ταυτίζεται με τη διεύθυνση του κύριου κανονικού ρήγματος της περιοχής. Το ρήγμα

αυτό πιθανώς επαναδραστηριοποιήθηκε κατά το Τεταρτογενές και αποτελεί την κύρια δίοδο ανόδου των θερμών ρευστών (Karydakis et al., 2005). Τα γεωθερμικά ρευστά κατατάσσονται στην κατηγορία των Na-HCO₃ νερών με πολύ μικρή αλατότητα (Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων 0,9-1,9 g/l). Από την εφαρμογή των χημικών γεωθερμομέτρων SiO₂, Na/K, Na-K-Ca, K/M και Mg/Li, η αρχική θερμοκρασία των ρευστών εκτιμάται στους 80°C (Karydakis et al., 2005).

Γεωθερμικό πεδίο Ιβήρων-Αχινού-Μαυροθάλασσας

Βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης Σερρών. Η γεωθερμική έρευνα ξεκίνησε από το ΙΓΜΕ το 1993 και συνεχίστηκε σε συνεργασία με το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης στο τέλος της δεκαετίας του 1990-αρχές δεκαετίας 2000. Η συνολική έκτασή φτάνει τα 25 km². Η τεκτονική κατάσταση στην περιοχή είναι περίπλοκη, με πολλά ρήγματα ΒΑ-ΝΔ, ΒΔ-ΝΑ και Α-Δ διεύθυνσης να επηρεάζουν τόσο το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής Μάζας, όσο και τα υπερκείμενα ιζήματα (Αρβανίτης, 2003). Η επιφανειακή έρευνα κατά τη δεκαετία του 1990 περιελάμβανε εκτεταμένες θερμομετρήσεις και δειγματοληψίες νερού από 230 υπάρχουσες υδρογεωτρήσεις και μετρήσεις θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος σε 80 από αυτές. Οι σημαντικότερες θερμοκρασίες εντοπίστηκαν κοντά στο γεωθερμικό πεδίο Θερμών Νιγρίτας (36,8°C), ΒΒΔ των Ιβήρων (34,6°C) και νότια του Αχινού (33,5°C). Με βάση τις κατά βάθος μετρήσεις θερμοκρασίας, η γεωθερμική βαθμίδα υπολογίστηκε έως και τριπλάσια της μέσης τιμής (Karydakis et al., 2005)

3.2.11 Λεκάνη Νέστου

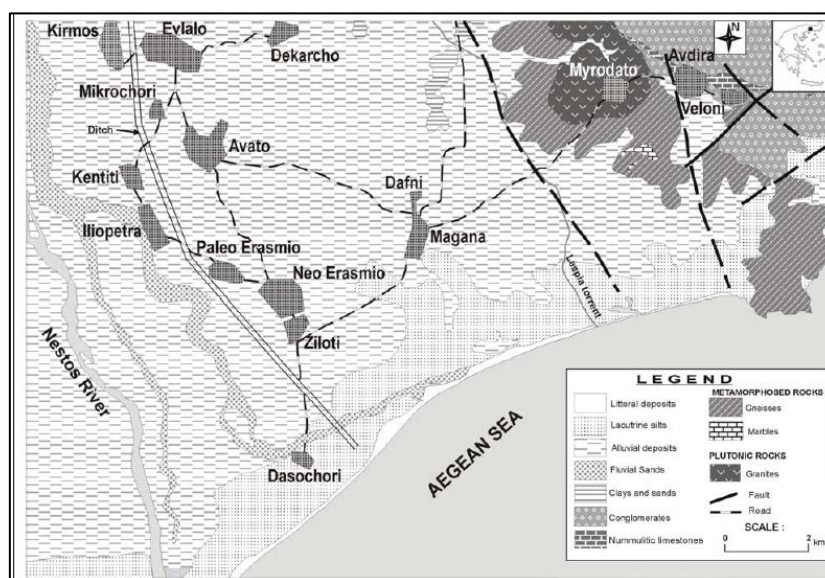
Η λεκάνη του ποταμού Νέστου βρίσκεται ανατολικά της Καβάλας, στην περιοχή που αναπτύσσεται των ομώνυμο Δέλτα, και καλύπτει έκταση 450 Km² ακολουθώντας ΑΒΑ-ΔΝΔ κατεύθυνση. Αποτελεί ένα Τριτογενές τεκτονικό βύθισμα που διαχωρίζεται από τη γειτονική λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής από το τεκτονικό κέρας Αβδήρων-Φαναρίου (Kolios et al., 2007). Η δημιουργία της ξεκίνησε κατά το Κατώτερο Μειόκαινο, αμέσως μετά τις συμπιεστικές φάσης του Ηωκαίνου.

Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα της Μάζας της Ροδόπης, κυρίως γνεύσιους, αμφιβολίτες και μάρμαρα, πάνω στα οποία έχουν αποτεθεί ιζηματογενή Μειοκαινικά και Πλειο-Τεταρτογενή ιζηματογενή πετρώματα. Το συνολικό πάχος της ιζηματογενούς σειράς ανέρχεται σε 3500-4000m (Lalechos & Savoyat, 1979).

Η γεωθερμική έρευνα στη λεκάνη ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990 και κατέληξε στον εντοπισμό και οριοθέτηση δύο σημαντικών γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας (τοπικού ενδιαφέροντος): *Νέου Ερασμίου-Μαγγάνων* στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης και *Ερατεινού-Χρυσούπολης* στο δυτικό τμήμα.

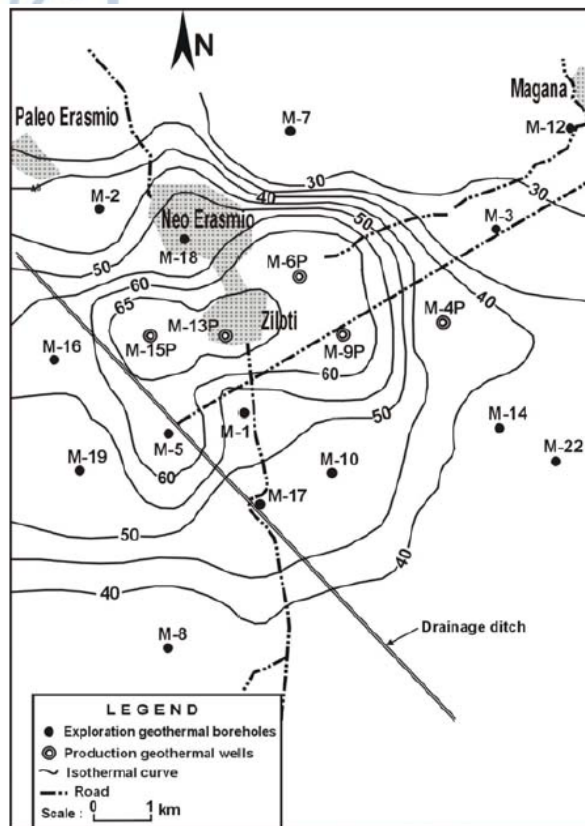
Γεωθερμικό πεδίο Νέου Ερασμίου-Μαγγάνων

Το γεωθερμικό πεδίο Νέου Ερασμίου-Μαγγάνων περιλαμβάνει ταμιευτήρες που τροφοδοτούνται μέσω των βαθιών ρηγμάτων που επηρεάζουν και τους μγματιτικούς γνεύσιους του υποβάθρου (Εικόνα 17).



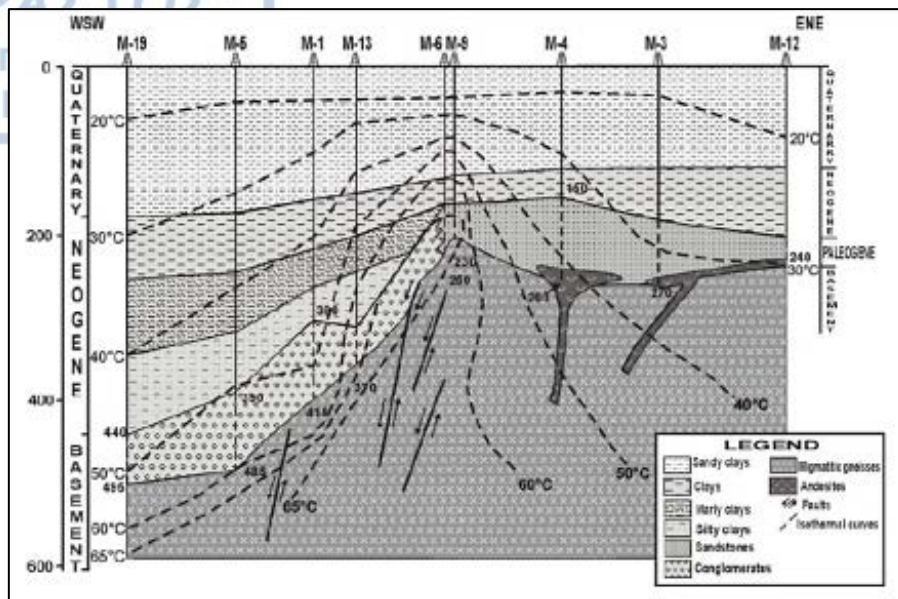
Εικόνα 17: Γεωλογικός χάρτης του πεδίου Νέου Ερασμίου-Μαγγάνων (Kolios et al., 2005)

Οι ταμιευτήρες αυτοί εντοπίζονται σε βάθη 200 και 400m (Fytikas et al., 1999), στη βάση της μεταλπικής ιζηματογενούς ακολουθίας και στην οροφή του μεταμορφωμένου υποβάθρου. Τα θερμά ρευστά ανέρχονται προς την επιφάνεια, από μεγάλα βάθη μέσα στο υπόβαθρο, διαμέσου των ΒΒΔ-ΝΝΑ ρηγμάτων που περνούν από την περιοχή του οικισμού του Ν. Ερασμίου. Κατά την άνοδό τους, εισέρχονται στα Νεογενή κροκαλοπαγή και στα ιζήματα του Παλαιογενούς που λειτουργούν ως υπό πίεση υδροφορείς. Η γεωθερμική ανωμαλία εκτείνεται κατά τη διεύθυνση Α-Δ, εκατέρωθεν του οικισμού της Ζηλωτής (Εικόνα 18) (Kolios et al., 2005). Η θερμοκρασία των ρευστών κυμαίνεται από 40 έως 65°C, ενώ οι γεωθερμικές βαθμίδες που μετρήθηκαν είναι πολύ μεγάλες (έως 25°C/100m). Οι υψηλότερες θερμοκρασίες μετρήθηκαν στις γεωτρήσεις Μ-6 και Μ-9 (Εικόνα 12), κοντά στη Ζηλωτή, στα 170-180m και 200m, αντίστοιχα, σε βάθη μικρότερα από το τελικό βάθος τους, όπου η θερμοκρασία ήταν μικρότερη (Kolios et al., 2005).



Εικόνα 18: Ισόθερμες καμπύλες στο βάθος της οροφής του υποβάθρου στο γεωθερμικό πεδίο Νέου Ερασμίου-Μαγγάνων (Kolios et al., 2005)

Το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής υποδεικνύει την πλευρική ροή των θερμών ρευστών λόγω της ύπαρξης περατών στρωμάτων ακριβώς πάνω από τον βαθύτερο ταμιευτήρα. Οι ισόθερμες καμπύλες καμπυλώνονται απότομα προς τα πάνω ακριβώς στη θέση των γεωτρήσεων M-6 και M-9 (Εικόνα 19). Βόρεια και βορειοανατολικά/ανατολικά του Νέου Ερασμίου, η θερμοκρασία μειώνεται απότομα, ενώ η μείωση είναι πιο προοδευτική και ομαλή προς τα δυτικά και τα νότια (Εικόνα 19). Όσον αφορά στον χημισμό τους, τα θερμά νερά στο συγκεκριμένο πεδίο κατατάσσονται στην κατηγορία των Na-Cl (ανατολικά του οικισμού) και Na-HCO₃Cl (στα δυτικά του οικισμού).



Εικόνα 19: Γεωθερμικό μοντέλο πεδίου Νέου Ερασμίου-Μαγγάνων (Kolios et al., 2005)

Γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού Χρυσούπολης

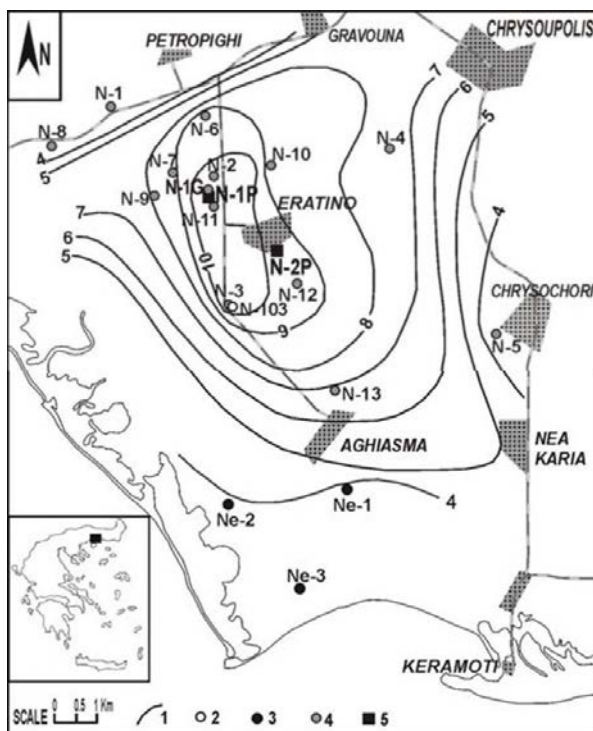
Το γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού- Χρυσούπολης εκτείνεται σε μια περιοχή 40km², στο δυτικό τμήμα του Δέλτα Νέστου. Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα της Ροδοπικής Μάζας (γνεύσιοι, αμφιβολίτες, μάρμαρα), ενώ η απόθεση ιζημάτων ξεκίνησε κατά το Κατώτερο Μειόκαινο.

Στην περιοχή υπήρχαν τρεις ερευνητικές γεωτρήσεις πετρελαίου (Ne-1, Ne-2, Ne-3), ενώ μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1990 κατασκευάστηκαν αρκετές ερευνητικές γεωθερμικές γεωτρήσεις και δύο παραγωγικές (Εικόνα 20). Η πιο βαθιά ερευνητική γεώτρηση (N1-G) έφτασε τα 760m. Το βάθος των υπόλοιπων ερευνητικών γεωτρήσεων (N-1 ως N-14) κυμάνθηκε από 300 έως 500m.

Η γεωθερμική βαθμίδα είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από τη μέση τιμή. Η περιοχή που παρατηρούνται οι πιο αυξημένες θερμοκρασίες καλύπτεται από ένα μεγάλο πάχους ιζηματογενές αδιαπέρατο κάλυμμα (έως 550m). Οι υψηλότερες θερμοκρασίες μετρήθηκαν ακριβώς κάτω από τα αδιαπέρατα αυτά στρώματα (άργιοι, μάργες, άμμοι κλπ.), μέσα σε ψαμμίτες, ωολιθικούς ασβεστόλιθους, μικρο-κροκαλοπαγή κλπ (Kolios et al., 2005)

Το υπόβαθρο της περιοχής χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και αυξημένες βαθμίδες, όπως έδειξαν οι μετρήσεις στις γεωτρήσεις πετρελαίου που βρίσκονται εκτός της περιοχής με τη μεγαλύτερη γεωθερμική ανωμαλία (Εικόνα 20). Συγκεκριμένα, στη γεώτρηση Ne-2, στα 4000m η θερμοκρασία είναι 178°C και η μέση γεωθερμική βαθμίδα 41°C/km. Στη γεωθερμική γεώτρηση N-1G, στα 1377m

μετρήθηκε θερμοκρασία 122°C, που ανταποκρίνεται σε γεωθερμική βαθμίδα 78°C/km (Kolios et al., 2005). Σύμφωνα με τον Cioti (1984) Οι αυξημένες θερμοκρασίες οφείλονται, μεταξύ άλλων, στις γρανιτικές διεισδύσεις που έλαβαν χώρα κατά το Σερραβάλιο, με αποτέλεσμα τη «θέρμανση» της περιοχής μέχρι και τους 270°C.



Εικόνα 20: Χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων και των καμπυλών ίσης θερμοβαθμίδας (°C/100m) στην περιοχή Ερατεινού-Χρυσούπολης (Kolios et al., 2005)

Η γεωθερμική/γεωτρητική έρευνα έδειξε πως γεωθερμική ανωμαλία εκτείνεται κατά έναν BBD-NNA άξονα και ταυτίζεται με τη θέση του τεκτονικού κέρατος του Ερατεινού, νότια του ομώνυμου οικισμού. Η ανάπτυξη του γεωθερμικού συστήματος συνδέεται επίσης με την παρουσία σημαντικών BBD-NNA ρηγμάτων που επηρεάζουν το υπόβαθρο και επιτρέπουν την κυκλοφορία των ρευστών και την άνοδό τους προς την επιφάνεια. Η μέγιστη θερμοκρασία που μετρήθηκε σε βάθη μέχρι 500m ήταν περίπου 70°C στη γεώτρηση N-11 (Fytikas & Kolios, 1992).

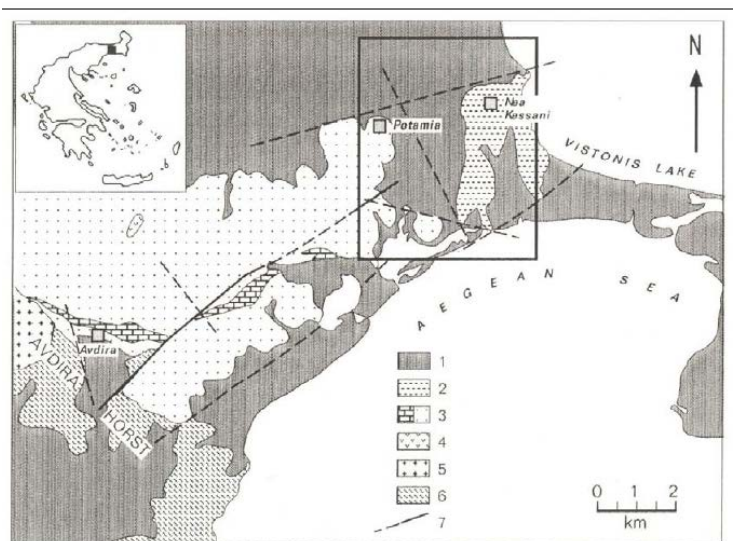
Η γεώτρηση N-1G διανοίχθηκε στο «κέντρο» της γεωθερμικής ανωμαλίας (Εικόνα 20), εντός μιας ζώνης με αυξημένες βαθμίδες που φτάνουν μέχρι και 120°C/1km. Το συνολικό πάχος των θερμών (έως 70°C) ταμιευτήρων φτάνει τα 40m. Σύμφωνα με τη γεωθερμική βαθμίδα και τη γεωλογική βαθμίδα της περιοχής, θερμοκρασίες έως 170°C είναι πιθανόν να υπάρχουν σε βάθη μεγαλύτερα των 1500m (Fytikas & Kolios, 1992).

Οι δύο παραγωγικές γεωτρήσεις που κατασκευάστηκαν στην περιοχή, έφτασαν σε βάθος 670 m, με θερμοκρασίες γύρω στους 75°C. Τα θερμά ρευστά εντοπίστηκαν νερά σε ιζήματα Μειοκαίνου, σε βάθη 550-650m, με αρτεσιανή ροή και παροχή περίπου 100 kgr/sec (Fytikas et al., 1999).

Με βάση τα δεδομένα των ερευνών, ρευστά με θερμοκρασίες της τάξης των 150-180°C αναμένεται να βρεθούν σε βάθη 1500-1800 m (Papachristou et al., 2020).

3.2.12 Νέα Κεσσάνη

Το γεωθερμικό πεδίο Νέας Κεσσάνης βρίσκεται στην τεκτονική λεκάνη Ξάνθης - Κομοτηνής (ανατολικά της πόλης της Ξάνθης), δυτικά της λίμνης Βιστωνίδας (Εικόνα 21). Η περιοχή γεωτεκτονικά ανήκει στη Μάζα της Ροδόπης, με το υπόβαθρό της να αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως γνεύσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, μάρμαρα και αμφιβολίτες (Κολιός, 1993). Η λεκάνη καλύπτεται κυρίως από κλαστικά ιζήματα ηλικίας Ηωκαίνου - Τεταρτογενούς, το πάχος των οποίων φτάνει κατά θέσεις και τα 3500m (Kolios et al., 2007).



Εικόνα 21: Απλοποιημένος χάρτης της ευρύτερης περιοχής του γεωθερμικού πεδίου Νέας Κεσσάνης [1. αλλουβιακά ιζήματα, 2. λιμναίες αποθέσεις, 3. σχηματισμοί του Παλαιογενούς, 4. ανδευσιτικές λάβες, 5. γρανίτες, 6., γνεύσιοι και αμφιβολίτες, 7. ρήγματα] (Kolios et al., 2005)

Το γεωθερμικό πεδίο της Νέας Κεσσάνης προσδιορίστηκε μετά από τις σχετικές έρευνες που ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1980. Πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας (τοπικού ενδιαφέροντος) με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 75 ως 82°C. Ο κύριος ταμιευτήρας εντοπίστηκε σε μικρά βάθη (150-400m) (Kolios et al., 2007) και αποτελείται από Ηωκαινικά-Ολιγοκαινικά κλαστικά ιζήματα που καλύπτονται από φλύσχη του Ολιγοκαίνου (γεωλογικό κάλυμμα).

Η γεωθερμική ανωμαλία συνδέεται με την παρουσία δύο συστημάτων ρηγμάτων, ΔΝΔ-ΑΒΑ και ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης. Η άνοδος των θερμών ρευστών σε μικρά βάθη διευκολύνεται από την παρουσία των ρηγμάτων αυτών και κυρίως τη διασταύρωσή τους. Ο βαθύτερος ταμιευτήρας πιθανότατα βρίσκεται μέσα στα μάρμαρα του υποβάθρου (Kolios et al., 2007), όπου θα μπορούσαν να υπάρχουν και ρευστά μέσης ενθαλπίας ($>150^{\circ}\text{C}$). Αντίθετα, στο κέντρο της λεκάνης Χάνθης - Κομοτηνής, οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν σε βαθιές ερευνητικές γεωτρήσεις πετρελαίου ήταν σχετικά χαμηλές σε αρκετά μεγάλα βάθη: 60 και 72°C στα 1300m και 1736m , αντίστοιχα (P.P.C., 1988)

Δύο παραγωγικές γεωτρήσεις που έγιναν στο τέλος της δεκαετίας του 1990 στην περιοχή του Πόρτο-Λάγος, σε βάθος 450m με ρευστά 38°C , έδειξαν ότι η γεωθερμική ανωμαλία που εντοπίστηκε στη Νέα Κεσσάνη επεκτείνεται προς τα ΝΑ. Τα ρευστά των δύο αυτών γεωτρήσεων χρησιμοποιήθηκαν για αρκετά χρόνια για τη θέρμανση των εγκαταστάσεων ιχθυοκαλλιέργειας της περιοχής.

3.2.13 Λεκάνη Δέλτα Έβρου

Η λεκάνη του Δέλτα Έβρου βρίσκεται κοντά στα σύνορα με την Τουρκία, αποτελεί το νότιο τμήμα της ευρύτερης Νεογενούς-Τεταρτογενούς λεκάνης Ορεστιάδας-Αλεξανδρούπολης και καταλαμβάνει έκταση περίπου 700Km^2 (Kolios et al., 2007). Φτάνει σε μέγιστο βάθος $3500 - 4000\text{m}$ και οριοθετείται από μεγάλα ρήγματα. Οι βασικοί γεωλογικοί της σχηματισμοί αποτελούνται από ιζήματα του Παλαιογενούς-Ηωκαίνου που αποτέθηκαν ασύμφωνα πάνω σε Μεσοζωϊκούς σχηματισμούς ή, προς τα δυτικά, πάνω στους γνεύσιους, αμφιβολίτες και οφιόλιθους της Ροδοπικής Μάζας.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ηφαιστειακή δραστηριότητα, η οποία χρονολογείται από το Ολιγόκαινο-Κατώτερο Μειόκαινο (πριν $33-23$ εκ. έτη). Τα προϊόντα της κατανέμονται κατά έναν ΒΑ-ΝΔ άξονα και αποτελούνται από πυροκλαστικά, τόφφους, τοφφίτες, ιγκνιμβρίτες, δόμους και ροές λάβας. Τόσο η ηφαιστειότητα όσο και η ιζηματογένεση στη λεκάνη, ελέγχονται από δύο μεγάλα ρήγματα ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης (Kolios et al., 2005).

Οι πρώτες ενδείξεις για το γεωθερμικό ενδιαφέρον στη λεκάνη ήταν η παρουσία των θερμών πηγών Τραϊανούπολης, με θερμοκρασίες περίπου 50°C . Εκτός αυτού, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και οι δομές της περιοχής (ηφαιστειότητα, ενεργός

τεκτονική, μαγματικές διεισδύσεις κλπ) συνηγορούσαν για την ύπαρξη σημαντικής γεωθερμικής ανωμαλίας.

Ήδη, από τη δεκαετία του 1950, είχαν πραγματοποιηθεί την περιοχή βαθιές ερευνητικές γεωτρήσεις πετρελαίου: EVROS-1 (1956-1957), DELTA-1 (1962-1963), DEV-1, DEV-2 και DEV-3 (1981-1982). Τα δεδομένα των γεωτρήσεων αυτών συνέβαλαν τόσο στη συστηματική μελέτη της στρωματογραφίας της λεκάνης όσο και στη συλλογή των πρώτων θερμομετρικών στοιχείων. Η γεώτρηση DEV-1 έφτασε σε βάθος 4229 m και οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν ήταν 68°C στα 1600 m, 96°C στα 2740 m, 136°C στα 3975 m, 146°C στα 4229 m (Kolios et al., 2007). Στην DEV-2, με βάθος 3213 m, οι θερμοκρασίες ήταν 81°C στα 2000 m, 90°C στα 2500 m και 100°C στα 3000 m. Τέλος, στη γεώτρηση DEV-3, με βάθος 2860 m, μετρήθηκαν 62,7°C στα 1520 m, 104°C στα 2650 m και 108°C στα 2860 m. (Kolios et.al.,2007). Δίπλα στις πηγές *Τραιανούπολης*, ανορύχθηκαν δύο παραγωγικές γεωτρήσεις που παράγουν ρευστά 52°C, τα οποία έκτοτε χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των εγκαταστάσεων των ιαματικών λουτρών της περιοχής.

Γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου

Το γεωθερμικό πεδίο του Αρίστηνου καλύπτει έκταση περίπου 30 km² και εκτείνεται δυτικά των θερμών πηγών Τραιανούπολης. Η γεωθερμική ανωμαλία εντοπίζεται στην περιοχή με ενεργά ρήγματα και παρουσία μαγματικών σωμάτων. Οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες βρέθηκαν μέσα σε εξαλλοιωμένους ηφαιστειακούς σχηματισμούς και πυροκλαστικά με σημαντική δευτερογενή περατότητα. Υπάρχουν δύο υδροθερμικά συστήματα: ένα ρηχό, σε βάθος περίπου 200m και θερμοκρασία γύρω στους 50°C και ένα βαθύτερο σε βάθη >360m, όπου οι θερμοκρασίες υπερβαίνουν τους 90°C (μέγιστη 99°C). Τα γεωθερμικά ρευστά του πεδίου ανήκουν στην κατηγορία των Na-Cl νερών με Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων από 4,3 ως 10,5 g/l. Από τη χημική τους ανάλυση προκύπτει ότι πιθανότατα τα ρευστά αυτά προκύπτουν από ανάμιξη μετεωρικού και θαλασσινού νερού, 76 και 23% συμμετοχή, αντίστοιχα. Η τροφοδοσία των ταμιευτήρων γίνεται από τους ορεινούς όγκους της Ροδόπης (βόρεια) και από τη θάλασσα (νότια).

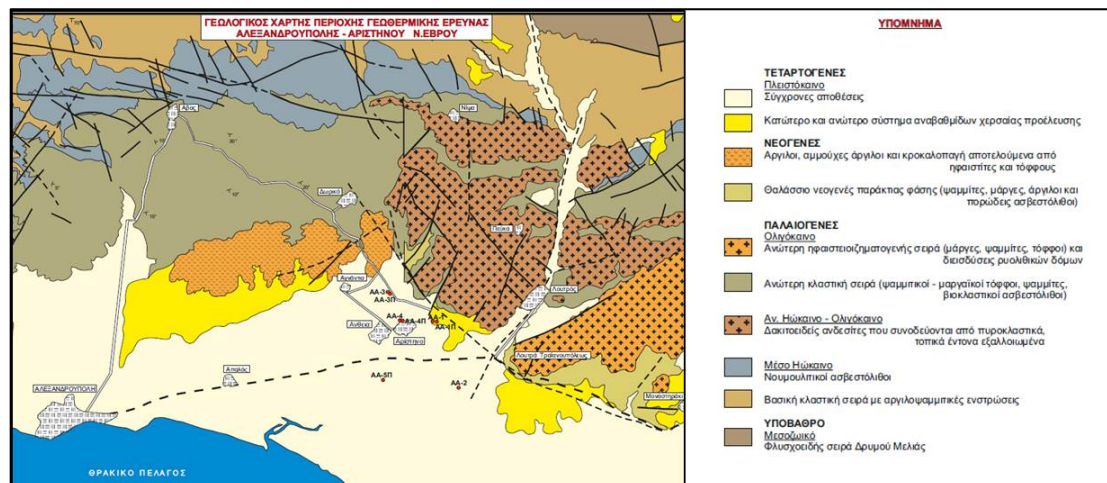
Η συστηματική γεωθερμική/γεωτρητική έρευνα στη λεκάνη του Δέλτα Έβρου, και συγκεκριμένα στην περιοχή του Αρίστηνου, άρχισε τη δεκαετία του 1980. Την περίοδο 1988-1994 πραγματοποιήθηκαν επιφανειακές έρευνες και διάνοιξη

ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων σε μικρά βάθη (ως 250m μέγιστο βάθος).

Οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στις γεωτρήσεις αυτές ήταν (ενδεικτικά):

- 82°C στα 140m βάθος (ιδιωτική γεώτρηση ΚΟ-1Ρ),
- 50-52°C σε βάθη 118 έως 250m με μικρές παροχές (15-18 m³/h) στην κοινότητα Λουτρού, όπου για εντοπίστηκε το ρηχό υδροθερμικό σύστημα

Στο τέλος της δεκαετίας του 1990 (περίοδος 1999-2000) το ΙΓΜΕ κατασκεύασε (4) ερευνητικές και (4) παραγωγικές γεωτρήσεις (Εικόνα 22).

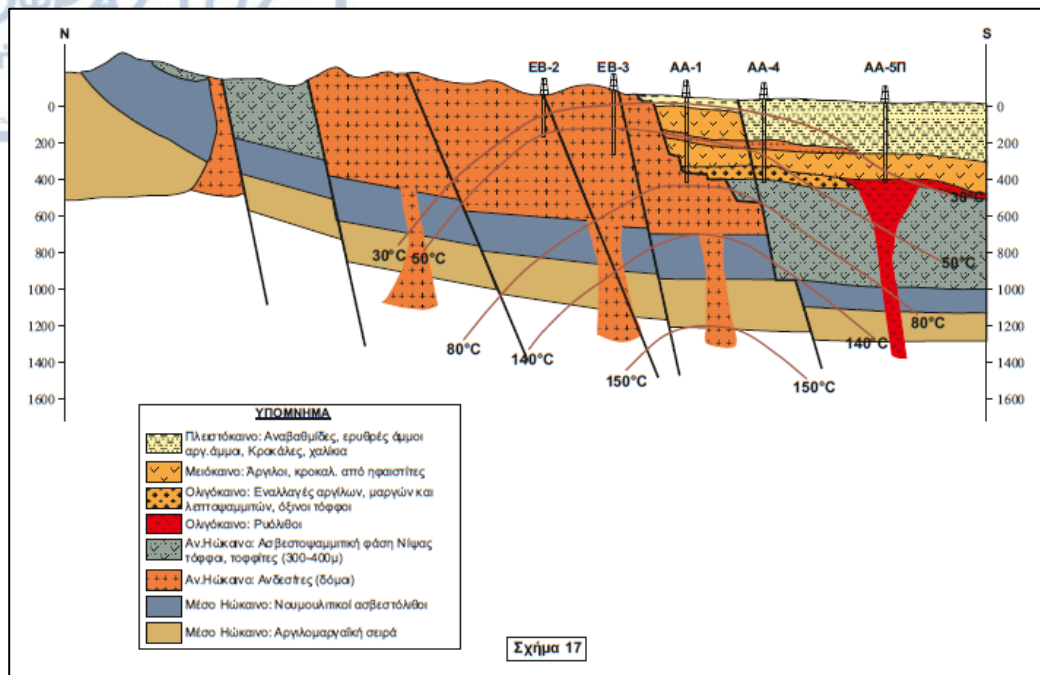


Εικόνα 22: Γεωλογικός χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων στην περιοχή του Αρίστηνου (Κολιός κ. ά., 2001)

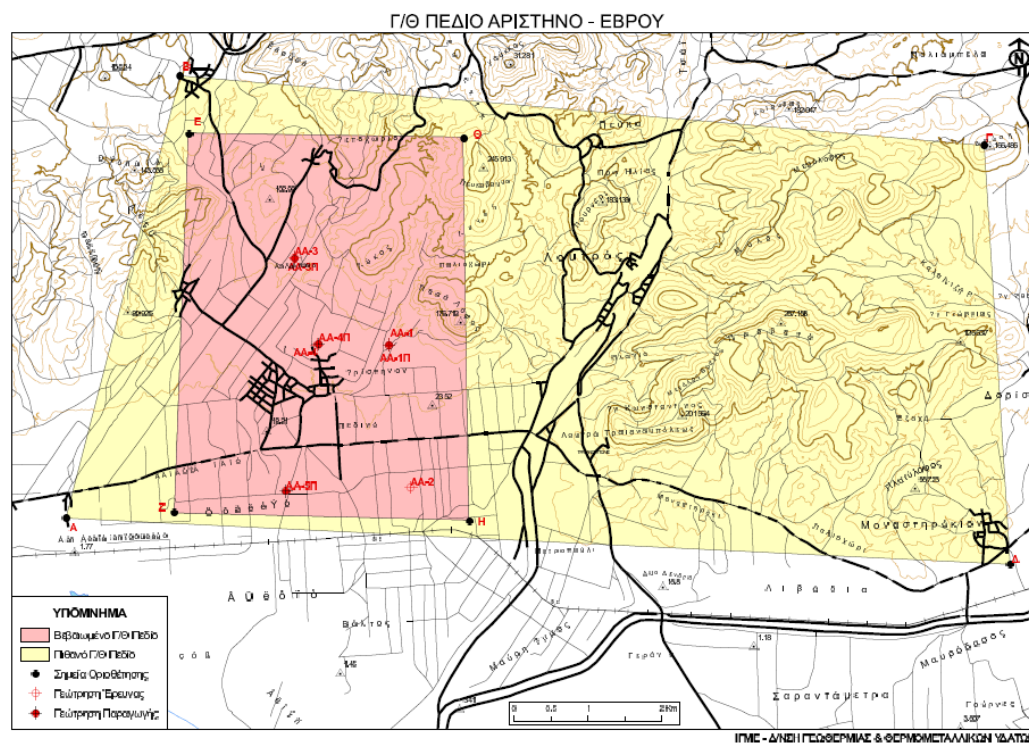
Τα σημαντικότερα αποτελέσματα των θερμομετρήσεων από τις γεωτρήσεις αυτές, συνοπτικά είναι:

- Γεώτρηση AA-1E: ερευνητική → Βάθος 470m, γεωθερμική βαθμίδα 16°C/100m
- Γεώτρηση AA-2E: ερευνητική → Βάθος 370m, μέγιστη θερμοκρασία 30,5°C
- Γεώτρηση AA-3P: παραγωγική → Βάθος 360m, θερμοκρασία 89°C κατά την άντληση (90-100m³/h)
- Γεώτρηση AA-4P: παραγωγική → Βάθος 440m, θερμοκρασία 64°C
- Γεώτρηση AA-5P: παραγωγική → Βάθος 415m, θερμοκρασία 32,5°

Το γεωθερμικό μοντέλο του πεδίου του Αρίστηνου, όπως διαμορφώθηκε από τη συστηματική έρευνα του ΙΓΜΕ, παρουσιάζεται στην Εικόνα 23. Μετά τις έρευνες του ΙΓΜΕ, το γεωθερμικό πεδίο του Αρίστηνου κατατάχθηκε στην κατηγορία των πεδίων χαμηλής ενθαλπίας. Η περιοχή που είχε ερευνηθεί πιο συστηματικά ονομάστηκε «βεβαιωμένο» πεδίο, με έκταση 20 km². Πολύ μεγαλύτερη (50km²) είναι η περιοχή που τότε χαρακτηρίστηκε ως «πιθανό πεδίο», στα ανατολικά της προηγούμενης (Εικόνα 24), εξαιτίας κυρίως της έλλειψης δεδομένων από γεωτρήσεις.



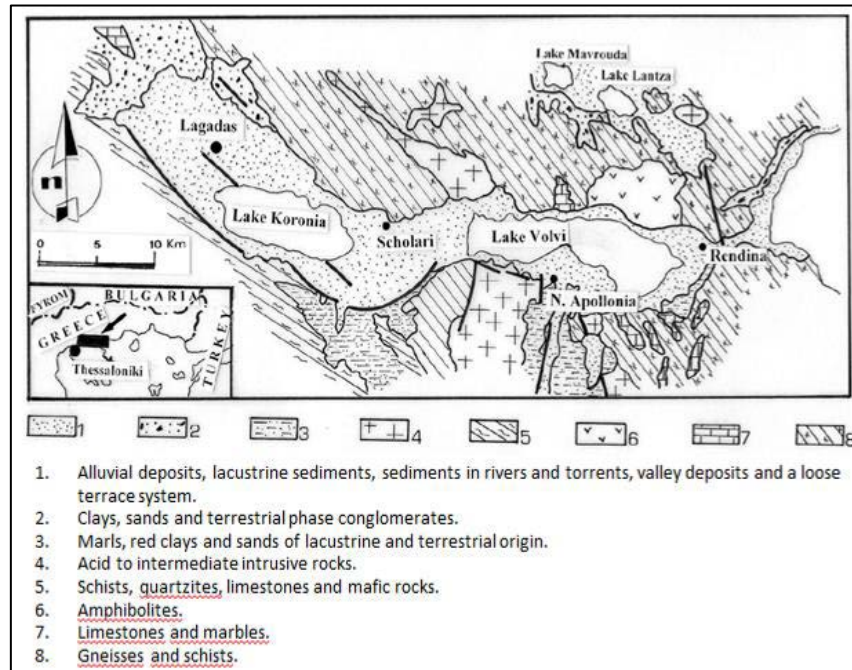
Εικόνα 23: Το γεωθερμικό μοντέλο της περιοχής Αρίστηνου (Κολιός κ.ά., 2001)



Εικόνα 24: Όρια γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου Αλεξανδρούπολης (ΙΓΜΕ, 2007)

3.2.14 Μυγδονία Λεκάνη

Η Μυγδονία λεκάνη βρίσκεται βορειοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης. Αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα του Νεογενούς, με επίμηκες σχήμα, του οποίου η δημιουργία ξεκίνησε κατά το Ολιγόκαινο (Τραγανός, 1991).



Εικόνα 25: Γεωλογικός χάρτης της Μυγδονίας Λεκάνης (Nimfopoulos et al., 2002)

Γεωλογικά, το μεγαλύτερο τμήμα της ανήκει στη Σερβομακεδονική Μάζα, και μόνο ένα μικρό μέρος ανήκει στην Περιοδοπική Ζώνη. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας που συναντώνται στη λεκάνη είναι κυρίως γνεύσιοι, μάρμαρα και σχιστόλιθοι (Εικόνα 25). Πάνω απ αυτά, υπάρχουν φυλλίτες, μάρμαρα, ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και γρανιτικοί σχίστες (Τραγανός, 1991). Στο τμήμα της Περιοδοπικής ζώνης, εκτός από γνεύσιους, συναντώνται Περμοτριάδικα-Ιουρασικά μεταϊζημάτα (μάρμαρα, ασβεστόλιθοι, φυλλίτες, χαλαζίτες, ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι και αργιλικοί-ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι) (Τραγανός, 1991). Τα ιζημάτα που πληρούν τη λεκάνη ανήκουν σε δυο ομάδες, την Προμυγδονιακή και τη Μυγδονιακή. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από αργιλικά υλικά, χαλαρά κροκαλοπαγή και ψαμμίτες και η δεύτερη αποτελείται από αργιλικές στρώσεις με εναλλαγές άμμου-ιλύος, άμμοι, κροκάλες και τραβερτινικές αποθέσεις (Τραγανός, 1991).

Στην περιοχή υπάρχουν πολλαπλές ομάδες ρηγμάτων και διαρρήξεων δημιουργώντας πολύπλοκη τεκτονική. Μια από τις κύριες ομάδες ρηγμάτων έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και δημιουργεί οριζόντιες μετατοπίσεις, λόγω δράσης αριστερόστροφων ρηγμάτων κανονικής μετάπτωσης (Τραγανός, 1991). Μια άλλη

ομάδα ρηγμάτων, με διεύθυνση Α-Δ, θεωρείται υπεύθυνη για την καταβύθιση της λεκάνης. Η συνδυαστική δράση των παραπάνω ρηγμάτων οδήγησε στη δημιουργία τεκτονικών δομών, όπως τεκτονικά κέρατα και βυθίσματα.

Η γεωθερμική έρευνα στην περιοχή ξεκίνησε από το ΙΓΜΕ το 1981 (Τραγανός, 1991) και κατέληξε στην οριοθέτηση τριών γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας (τοπικού ενδιαφέροντος): του Λαγκαδά, της Νέας Απολλωνίας και της Νυμφόπετρας

Οι αρχικές ενδείξεις για την ύπαρξη γεωθερμικής ανωμαλίας ήταν η παρουσία θερμών πηγών στον Λαγκαδά και στη Νέα Απολλωνία. Οι επιφανειακές έρευνες περιελάμβαναν εκτεταμένες δειγματοληψίες από υπάρχοντα σημεία νερού και γεωφυσικές διασκοπήσεις. Στη συνέχεια ανορύχθηκαν επτά ερευνητικές γεωτρήσεις στην περιοχή του Λαγκαδά και έξι στη Νέα Απολλωνία. Το 1997, στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος για την υδρομάστευση των πηγών της Νέας Απολλωνίας, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Τμήμα Γεωλογίας), κατασκεύασε εντός του χώρου των Λουτρών Βόλβης δύο νέες, πολύ ρηχές, παραγωγικές γεωτρήσεις (37m και 40m βάθος), οι οποίες είχαν αξιοσημείωτη παροχή (εκμεταλλεύσιμη παροχή $>100 \text{ m}^3/\text{h}$, μέγιστη παροχή $>300 \text{ m}^3/\text{h}$) και θερμοκρασία $54-55^\circ\text{C}$ (Fytikas et al., 1999). Γεωθερμική γεώτρηση βάθους 120m κατασκευάστηκε την ίδια περίοδο και στη Νυμφόπετρα, η οποία παρήγαγε ρευστά θερμοκρασίας 42°C .

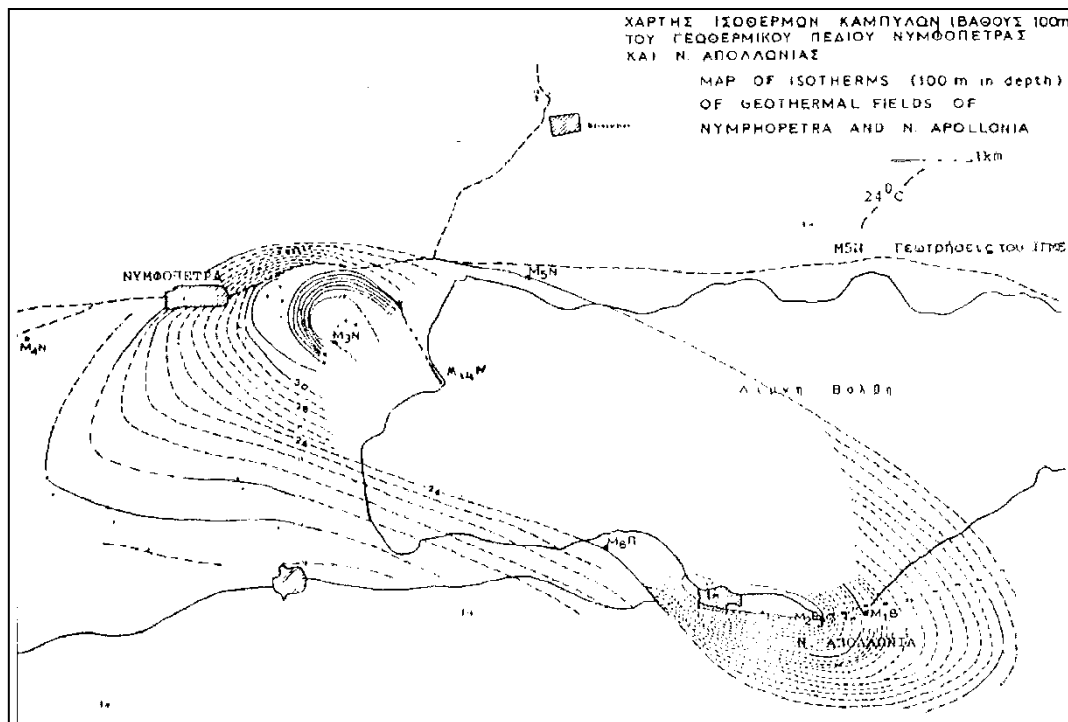
Γεωθερμικό πεδίο Λαγκαδά:

Το γεωθερμικό πεδίο του Λαγκαδά βρίσκεται πολύ κοντά στην ομώνυμη κωμόπολη, καταλαμβάνει έκταση 6 Km^2 , και αναπτύσσεται κατά τη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, ίδια δηλαδή με τη διεύθυνση του κύριου συστήματος ρήγματος της περιοχής. Οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών είναι $32-40^\circ\text{C}$ σε βάθη 100-230m. Η γεωθερμική ανωμαλία δεν είναι εκτεταμένη και εντοπίζεται μέσα στο χώρο των Λουτρών, λόγω της ανόδου θερμών ρευστών από πολύ μεγάλα βάθη μέσω βαθιών κάθετων ρηγμάτων (Τραγανός, 1991).

Γεωθερμικό πεδίο Νέας Απολλωνίας

Πρόκειται για ένα πεδίο με πολύ μικρή έκταση, μόλις 2 Km^2 , που εκτείνεται 1,5 Km ανατολικά μέχρι και 500 m δυτικά των ομώνυμων Λουτρών. Η μέγιστη γεωθερμική ανωμαλία εντοπίζεται στο χώρο των Λουτρών, λόγω ανύψωσης του υποβάθρου και διασταύρωσης ενεργών ρηγμάτων. Η περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος πιθανώς προεκτείνεται προς τα ΒΔ των Λουτρών μέσα στη λίμνη, όπως φαίνεται και από τη

μορφή και διάταξη των ισοθερμικών καμπυλών (Εικόνα 26). Η θερμή υδροφορία εντοπίστηκε μέσα σε άμμους, τραβερτινικές αποθέσεις και φακοειδείς ενστρώσεις αδρομερών υλικών (π.χ. ψηφίδες).



Εικόνα 26: Χάρτης ισόθερμων καμπυλών στην περιοχή της Νέας Απολλωνίας (Τραγανός, 1991)

Γεωθερμικό πεδίο Νυμφόπετρας

Το συγκεκριμένο γεωθερμικό πεδίο Νυμφόπετρας βρίσκεται νοτιοανατολικά του χωριού Νυμφόπετρα, και καταλαμβάνει έκταση 2 Km². Οι θερμοκρασίες που έχουν καταγραφεί είναι 30°-44° C σε μικρά βάθη 80-120 m.

Θεωρείται πιθανόν οι δύο γεωθερμικές περιοχές της Ν. Απολλωνίας και της Νυμφόπετρας να αποτελούν ένα ενιαίο γεωθερμικό πεδίο, όπου οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες να εντοπίζονται σε έναν άξονα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης (Εικόνα 26), ο οποίος ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων που είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία πολλών γεωθερμικών πεδίων του βορειοελλαδικού χώρου. Εάν ισχύει αυτό, τότε το κύριο ρήγμα τροφοδοσίας και ανόδου των ρευστών θα πρέπει να είναι αυτό με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, το οποίο εκτείνεται και υπο-λιμναία μεταξύ των Λουτρών Ν. Απολλωνίας και της Νυμφόπετρας.

3.2.15 Λοιπές περιοχές

Εκτός των προαναφερθέντων σημαντικών γεωθερμικών πεδίων, αρκετές άλλες περιοχές σε όλη την ελληνική επικράτεια, για τις οποίες υπήρχαν ενδείξεις γεωθερμικού ενδιαφέροντος, ερευνήθηκαν μέχρι και το 2000.

Στο **Νέο Ρύσιο** Θεσσαλονίκης, πραγματοποιήθηκε γεώτρηση βάθους 600m μέσα σε Μειοκαινικά ιζήματα, τα αποτελέσματα της οποίας έδειξαν ότι η θερμοκρασία σε βάθη περίπου 800 m θα μπορούσε να φτάσει τους 60° C (Fytikas et al., 2000).

Στην περιοχή **Σάνης-Αφύτου** του Νομού Χαλκιδικής πραγματοποιήθηκαν τρεις ερευνητικές γεωτρήσεις σε βάθος 600 m, με θερμοκρασίες περίπου 40°C (Fytikas et al., 2000) και αρτεσιανή ροή.

Στον νομό Χαλκιδικής, εντοπίστηκε γεωθερμική ανωμαλία με χαμηλές θερμοκρασίες (έως 42°C) σε μια περιοχή που εκτείνεται από τα νότια των Πετραλώνων και μεταξύ των χωρίων Ελαιοχώρια και ανατολικά της Νέας Τενέδου (γεωθερμικό πεδίο **Ελαιοχωρίων**). Πρόκειται για ένα πεδίο που ερευνήθηκε μόνο επιφανειακά, και, για τον λόγο αυτόν, κατατάχθηκε στα «πιθανά» γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας (ΙΓΜΕ, 2007). Η συνολική του έκταση είναι 25 km² και το βάθος των γεωθερμικών ταμιευτήρων περίπου 200m.

Στην **Ειρηνούπολη** (Νομός Ημαθίας) έγιναν δύο ερευνητικές γεωτρήσεις σε βάθος 400m, όπου βρέθηκαν υψηλής αλατότητας ρευστά με χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες 27° C (Fytikas et al., 1999). Στο **Νησί** Ημαθίας, οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν σε δύο ερευνητικές γεωτρήσεις βάθους 500-580 m ήταν 35°C. Οι συγκεκριμένες γεωτρήσεις παρήγαγαν ρευστά χαμηλής αλατότητας μεγάλης παροχής (Fytikas et al., 2000).

Στον Νομό Φλωρίνης, πραγματοποιήθηκαν δύο γεωτρήσεις στην περιοχή του **Λιμνοχωρίου** με θερμοκρασίες 38°C σε βάθος 200m (Fytikas et al., 2000). Επιπλέον, σε δύο αρδευτικές γεωτρήσεις κοντά στην πόλη της Φλώρινας, βάθους 350m, μετρήθηκαν θερμοκρασίες 27°C (Fytikas et al., 2000). Οι γεωτρήσεις αυτές ανορύχθηκαν κοντά σε ένα σημαντικό σύστημα ρηγμάτων και, εκτός από μεγάλη παροχή, τα νερά χαρακτηρίζονται και από υψηλή περιεκτικότητα σε CO₂.

Στις **Σάμπες** του Νομού Ροδόπης, έγιναν τέσσερις (4) ερευνητικές και τρεις (3) παραγωγικές γεωτρήσεις. Ο γεωθερμικός ταμιευτήρας εντοπίστηκε μέσα σε ενστρώσεις τεταρτογενών ηφαιστειακών πετρωμάτων και περιέχει πολύ καλής ποιότητας γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασίες γύρω στους 40°C (Fytikas et al.,

2000). Στην περιοχή οριοθετήθηκε γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας, με έκταση 25km².

Στο νότιο τμήμα του Νομού Κομοτηνής η γεωθερμική έρευνα και οι (5) ερευνητικές γεωτρήσεις που βρήκαν θερμά ρευστά των 40°C (Fytikas et al., 1990), επιβεβαίωσαν το γεωθερμικό ενδιαφέρον της περιοχής και αποκάλυψαν την ύπαρξη γεωθερμικής ανωμαλίας σε μία έκταση 30 km².

Στη Δυτική Ελλάδα και στην περιοχή της Ήπειρου ανακαλύφθηκαν κάποια γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας (Fytikas et al., 1999). Συγκεκριμένα, στις **Συκιές Άρτας** βρέθηκαν θερμοκρασίες 40-45°C σε (3) γεωτρήσεις (δύο ερευνητικές και μία παραγωγική), που έγιναν μέσα σε ασβεστόλιθους της περιοχής. Στην **Κόνιτσα** (Νομός Ιωαννίνων) έγινε μία γεώτρηση που έφτασε στα 300m βάθους μέσα σε ασβεστόλιθους και έδωσε θερμοκρασίες νερού 38°C. Στην περιοχή του **Αντιρρίου**, η γεωθερμική έρευνα ξεκίνησε στο τέλος της δεκαετίας του 1990. Η πρώτη γεώτρηση έφτασε σε βάθος 150m και βρήκε ρευστά με θερμοκρασία 38°C (Fytikas et al., 2000).

Στο **Καβούρι** Αττικής, δύο ρηχές γεωτρήσεις (~120m), συνάντησαν ρευστά θερμοκρασίας 36 ° C (Fytikas et al., 1999). Τέλος, γεωθερμικό ενδιαφέρον αποδείχθηκε ότι υπάρχει και στους **Σοφάδες** της Θεσσαλίας, όπου βρέθηκαν θερμοκρασίες 65°C στα 430 m.

3.3 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2000-2005

Κατά την πενταετία 2000-2005, οι περισσότερες ερευνητικές γεωθερμικές εργασίες εκπονήθηκαν από το ΙΓΜΕ σε συνεργασία με τοπικούς φορείς, και αφορούσαν είτε στην περαιτέρω εξερεύνηση ήδη γνωστών γεωθερμικών πεδίων είτε στην έρευνα νέων περιοχών γεωθερμικού ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, αναφέρονται συνοπτικά τα αποτελέσματά τους.

3.3.1 Ίβηρα-Αχινός

Η πιθανή γεωθερμική ανωμαλία στο νοτιότερο τμήμα της λεκάνης του Στρυμόνα (Ιβήρων-Αχινού-Μαυροθάλασσας), επιβεβαιώθηκε το 2002, με την ανόρυξη μιας νέας παραγωγικής γεωθερμικής γεώτρησης βάθους 680m. Η μέγιστη θερμοκρασία που μετρήθηκε ήταν 58°C, και η παροχή της γεώτρησης, η οποία παρουσίαζε και αρτεσιανισμό, ήταν περίπου 110 m³/h (30 kg/s) (Fytikas et al., 2005).

3.3.2 Ακροπόταμος Καβάλας:

Το 2003 ένα φιλόδοξο ερευνητικό πρόγραμμα σε όλη την παράκτια ζώνη δυτικά της Καβάλας, το οποίο περιελάμβανε και την κατασκευή δυο παραγωγικών γεωθερμικών γεωτρήσεων σε βάθη 275-400 m στην περιοχή του Ακροποτάμου. Τα παραγόμενα γεωθερμικά ρευστά ανήκουν στην κατηγορία των όξινων ανθρακικών νερών και οι θερμοκρασίες τους κυμάνθηκαν από 51 έως 82°C. Η γεώτρηση παρουσίασε σημαντικό αρτεσιανισμό (Εικόνα 20) με παροχή –περίπου 40 kg/s (Fytikas et al., 2005).



Εικόνα 27:Αρτεσιανή γεωθερμική γεώτρηση στον Ακροπόταμο Καβάλας (Fytikas et al., 2005)

3.3.3 Αριδαία Πέλλας

Μία καινούρια παραγωγική γεωθερμική γεώτρηση ανορύχθηκε στην περιοχή της Αριδαίας (Λεκάνη Αλμωπίας), η οποία έφτασε σε βάθος 780 m. Παρά το μεγάλο βάθος, λόγω των ιδιαίτερων γεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής (έλλειψη κατάλληλου γεωλογικού καλύμματος και ανάμειξη των θερμών ρευστών με μεγάλες ποσότητες επιφανειακών και μετεωρικών νερών που κατεισδύουν από τους ορεινούς όγκους της περιοχής), η θερμοκρασίες που μετρήθηκαν ήταν χαμηλές (38°C), ενώ η παροχή των ρευστών αρκετά μεγάλη, (33 kg/s) (Fytikas et al., 2005).

3.3.4 Αλεξάνδρεια Ημαθίας

Στο βορειότερο τμήμα της ευρύτερης λεκάνης Θεσσαλονίκης, κατασκευάστηκε μία παραγωγική γεωθερμική γεώτρηση σε βάθος 800m. Η παροχή της ήταν σημαντική (33 kg/s) και οι θερμοκρασίες των ρευστών γύρω στους 36°C. Τα θερμά νερά εντοπίστηκαν μέσα σε Τεταρτογενείς και Μειοκαινικούς σχηματισμούς. (Fytikas et al., 2005).

3.3.5 Σάνη Χαλκιδικής

Στο πλαίσιο της γεωθερμικής έρευνας που είχε ξεκινήσει τα προηγούμενα χρόνια στην περιοχή Σάνη (Κασσάνδρα, Ν. Χαλκιδικής), κατασκευάστηκε νέα παραγωγική γεωθερμική γεώτρηση βάθους 605m, η οποία παρήγαγε γεωθερμικά νερά θερμοκρασίας 32°C, με μέση παροχή 27kg/s (Fytikas et al., 2005). Η χημική ανάλυση των των γεωθερμικών ρευστών έδειξε, αυξημένες περιεκτικότητες σε μεθάνιο και άζωτο.

3.3.6 Λαγκαδάς Θεσσαλονίκης :

Κατασκευάστηκαν δυο παραγωγικές γεωτρήσεις μικρού βάθους, 120-170 m, εντός του χώρου των εγκαταστάσεων των ιαματικών Λουτρών Λαγκαδά. Η θερμότερη από αυτές είχε θερμοκρασία 38°C, και παροχή περίπου 22 kg/s (Fytikas et al., 2005).

3.3.7 Νέα Απολλωνία Θεσσαλονίκης

Κατά την περίοδο 2003-2004, ανορύχθηκαν συνολικά πέντε (5) νέες γεωθερμικές γεωτρήσεις από το ΙΓΜΕ, με σκοπό την οριοθέτηση του πεδίου προς βόρεια και ανατολικά όριά του (εκτός δηλαδή της ήδη γνωστής και εντοπισμένης γεωθερμικής ανωμαλίας μέσα στο χώρο των ομώνυμων Λουτρών). Η πρώτη γεώτρηση, GV-1P, έφτασε σε βάθος 320m, και συνάντησε γεωθερμικά ρευστά με παροχή 11 kg/s και μέγιστη θερμοκρασία 31°C (Andritsos et al., 2010). Η δεύτερη γεώτρηση, GV-1P, έφτασε σε βάθος 126 m, όμως η μέγιστη θερμοκρασία των ρευστών μετρήθηκε σε βάθη 50-55m και ήταν 27°C (Andritsos et al., 2010). Η γεώτρηση GV-3P, βάθους 192 m, δεν παρουσίασε ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον διότι η μέγιστη θερμοκρασία, η οποία μετρήθηκε στον πυθμένα της, ήταν μόλις 22°C (Andritsos et al., 2010). Η γεώτρηση GV-4P, παρήγαγε ρευστά με μέγιστη θερμοκρασία 40°C, που βρέθηκαν στα 55-70 m βάθους, ενώ το βάθος της ήταν 108 m. (Andritsos et al., 2010). Η μέση παροχή άντλησης του νερού ήταν 14 kg/s. Θερμοκρασίες της τάξης των 40°C

καταγράφηκαν στην κεφαλή της γεώτρησης GV-5P, βάθους 126m και παροχής 14 kg/s. Η μέγιστη θερμοκρασία σε αυτήν τη γεώτρηση μετρήθηκε στα 70-75m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

3.3.8 Αετός Φλώρινας :

Η περιοχή του Αετού Φλώρινας, βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα της ιζηματογενούς λεκάνης της Πτολεμαΐδας. Την περίοδο 2000-2005, ανορύχθηκαν τρεις (3) ρηχές παραγωγικές γεωτρήσεις (βάθους ως 200m), με συνολική παροχή 54 kg/s και θερμοκρασίες ρευστών που κυμαίνονται από 30 ως 36°C (Fytikas et al., 2005).

3.3.9 Αρίστηνο-Αετοχώρι Έβρου:

Στο ήδη γνωστό και σημαντικό γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου (Δέλτα Έβρου), κατασκευάστηκε νέα γεωθερμική γεώτρηση που έφτασε σε βάθος 500m. Η θερμοκρασία των ρευστών ήταν 62°C και η παροχή τους 18 kg/s (Fytikas et al., 2005). Το 2004, κατασκευάστηκε από ιδιώτη μια γεώτρηση με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση θερμοκηπίου. Η γεώτρηση αυτή είχε βάθος 490m, ενώ οι μεγαλύτερη θερμοκρασία (81°C) καταγράφηκε στα 480m.

3.3.10 Πέραμα Σάπες Ροδόπης

Η περιοχή Περάματος-Σαπών ανήκει στην περιφερειακή ενότητα Ροδόπης, και γεωτεκτονικά εντοπίζεται στα ανατολικά περιθώρια της μετα-ορογενετικής τεκτονικής λεκάνης Πετρωτών-Σαπών. Το γεωθερμικό ενδιαφέρον της συγκεκριμένης περιοχής αποκαλύφθηκε όταν μία γεώτρηση που ανορύχθηκε από ιδιωτική μεταλλευτική εταιρεία, συνάντησε έναν σημαντικό καρστικό γεωθερμικό ταμιευτήρα στα 250 m βάθος, με πολύ μεγάλες παροχές (42 kg/s) και ρευστά θερμοκρασίας 38°C (Fytikas et al., 2005).

3.3.11 Μυρωδάτο Ξάνθης

Η περιοχή βρίσκεται στο ανατολικό περιθώριο της μολασσικής λεκάνης του ποταμού Νέστου, δυτικά του τεκτονικού κέρατος των Αβδήρων. Το γεωθερμικό ενδιαφέρον επιβεβαιώθηκε από τα ευρήματα μιας σχετικά ρηχής γεωθερμικής γεώτρησης (150m) με θερμοκρασίες 52°C (Fytikas et al., 2005)

3.3.12 Κόνιτσα Ιωαννίνων

Η προκαταρκτική γεωθερμική έρευνα των προηγούμενων ετών κατέληξε στην χωροθέτηση και κατασκευή μία παραγωγικής γεωθερμικής γεώτρησης στην περιοχή

των Καβάσιλων. Η γεώτρηση αυτή έχει βάθος 300 m, παρουσιάζει αρτεσιανισμό (με παροχή περίπου 22 kg/s), ενώ η θερμοκρασία των θερμών νερών είναι 32°C (Fytikas et al., 2005).

3.3.13 Αντίρριο

Τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα της πρώτης ερευνητικής γεωθερμικής γεώτρησης που είχε γίνει στην περιοχή του Αντίρριου, οδήγησαν στην κατασκευή μιας παραγωγικής γεώτρησης μικρού βάθους (120m), η οποία συνάντησε έναν ενδιαφέροντα θερμό ταμιευτήρα με ρευτά 32°C και μεγάλη παροχή (33kg/s) (Fytikas et al., 2005).

3.3.14 Χίος

Σε συνέχεια των εκτεταμένων γεωθερμικών ερευνών στο νησί της Χίου, ανορύχθηκε παραγωγική γεώτρηση στην περιοχή των Νένητων, βάθους 380 m, με θερμοκρασία στον ταμιευτήρα που φτάνει τους 82°C και παροχή που ξεπερνά τα 14kg/s υφάλμυρων νερών (Fytikas et al., 2005).

3.3.15 Λέσβος

Κατά την πενταετία 2000-2005, ολοκληρώθηκε ένα σημαντικό γεωθερμικό πρόγραμμα της ΔΕΗ στις περιοχές της Στύψης και της Αργένου, με σκοπό την ανεύρεση κατάλληλων γεωθερμικών ρευστών για ηλεκτροπαραγωγή με δυαδικό κύκλο. Το πρόγραμμα περιελάμβανε την κατασκευή τριών μεγάλου βάθους παραγωγικών γεωθερμικών γεωτρήσεων σε βάθη από 300 ως 1085 m. Οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στις γεωτρήσεις αυτές κυμαίνονταν από 90-100°C, (Fytikas et al., 2005). Παρόλα αυτά, η παροχή των ρευστών ήταν σχετικά μικρή (14-30 kg/s). Εκείνη την περίοδο, η ΔΕΗ είχε προγραμματίσει για τα αμέσως επόμενα έτη την παραγωγή γεωτρήσεων μεγαλύτερου βάθους, έως 1600m, στην Στύψη και την Πέτρα (κεντρικός τομέας του νησιού) με σκοπό την ανεύρεση ρευστών μέσης ενθαλπίας (>150°C).

3.3.16 Μήλος

Στο πλαίσιο ενός μεγάλου προγράμματος για τη δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης στη Μήλο, ανορύχθηκαν, υπό την επιστημονική επίβλεψη του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ οχτώ (8) γεωθερμικές γεωτρήσεις παραγωγής και τρεις (3) επανεισαγωγής σε βάθη από 80 ως 150 m, στην περιοχή των Βουναλίων. Σκοπός των γεωτρήσεων αυτών ήταν η εξεύρεση ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας

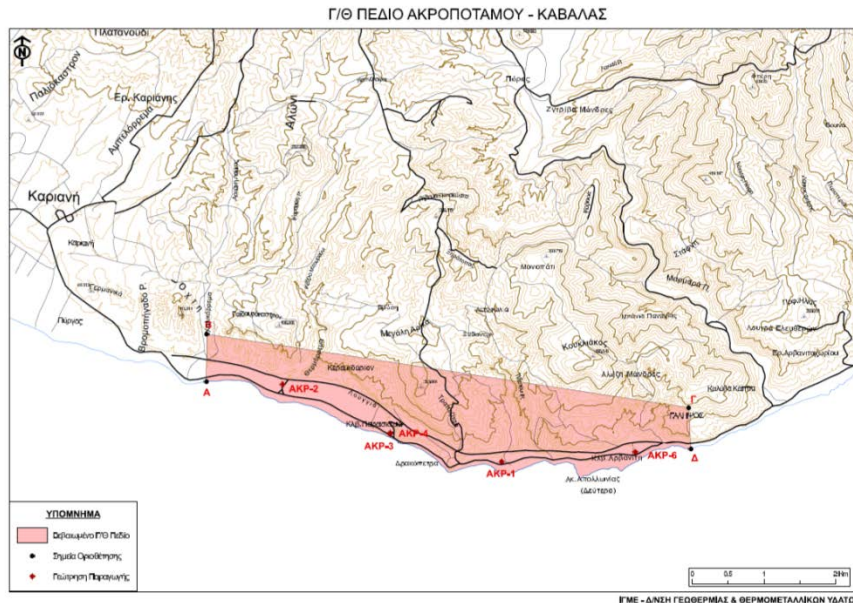
(έως 90°C) για την τροφοδοσία και την ηλεκτροδότηση των μονάδων αφαλάτωσης που επρόκειτο να κατασκευαστούν στο νησί. Οι θερμοκρασίες των ρευστών που συναντήθηκαν στους πολύ ρηχούς ταμιευτήρες ήταν μεταξύ 80 και 100°C, ενώ η συνολική παροχή των παραγωγικών γεωτρήσεων έφτασε τα 120 kg/s (Fytikas et al., 2005). Το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων των γεωθερμικών ρευστών ήταν 20-45 g/L. Παρά την επιτυχία του γεωτρητικού προγράμματος, οι γεωτρήσεις αυτές δεν χρησιμοποιήθηκαν ποτέ, για λόγους ανεξάρτητους από τη γεωθερμία.

3.4 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2005-2010

Κατά την πενταετία 2005-2010, οι περισσότερες ερευνητικές γεωθερμικές εργασίες εκπονήθηκαν από το ΙΓΜΕ. Παρόλα αυτά, περισσότερες από δέκα δέκα γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν από ιδιώτες, με στόχο την εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού.

3.4.1 Ακροπόταμος Καβάλας

Μέχρι τον Φεβρουάριο του 2006, ανορύχθηκαν τέσσερις (4) επιπλέον γεωτρήσεις (AKP-3 ως AKP-6, Εικόνα 28)). Η AKR-3 είχε βάθος 515 m και η μέγιστη θερμοκρασία των ρευστών ήταν 90° C, πολύ κοντά στον πυθμένα της (Andritsos et al., 2010). Η μέση παροχή του γεωθερμικού νερού εκτιμήθηκε στα 55 kg/s, ενώ τα ρευστά είναι πλούσια σε CO₂. Η AKR-4 έφτασε μέχρι τα 180 m , με παροχή 12 kg/s (Andritsos et al., 2010). Η μεγιστή θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 48° C. Προφανώς η γεώτρηση αυτή διέτρησε μόνο τον ανώτερο γεωθερμικό ταμιευτήρα. Η γεώτρηση AKR-5 ανορύχθηκε στο δυτικότερο τμήμα του γεωθερμικού πεδίου, κοντά στον ποταμό Στρυμόνα. Το τελικό της βάθος ήταν 422 m και η μέγιστη θερμοκρασία 28°C, η οποία σημειώθηκε στα 280 m (Andritsos et al., 2010). Η τελευταία γεώτρηση, AKR-6, βρίσκεται στο ανατολικότερο τμήμα του πεδίου και είχε τελικό βάθος τα 545 m. Στα 503 m μετρήθηκε θερμοκρασία 38°C, που ήταν και η μέγιστη στη συγκεκριμένη γεώτρηση (Andritsos et al., 2010). Τα γεωθερμικά ρευστά των περισσότερων γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν στην περιοχή (εκτός από την AKR-2), ανήκουν στην κατηγορία των Na-Cl νερών (Andritsos et al., 2010). Το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων, και στις έξι γεωτρήσεις, κυμαίνεται απο 3,1-31 g/L.



Εικόνα 28: Βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας (τοπικού ενδιαφέροντος) Ακροποτάμου Καβάλας (ΓΓΜΕ, 2007)

Η έρευνα του ΓΓΜΕ κατέληξε στην οριοθέτηση του γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας Ακροποτάμου (Εικόνα 28), με έκταση περίπου 7km^2 .

3.4.2 Νέα Απολλωνία

Στο συγκεκριμένο γεωθερμικό πεδίο πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) γεωτρήσεις από ιδιώτες. Τον Ιούνιο του 2005, κατασκευάστηκε η γεωθερμική γεώτρηση GV-67, σε μικρή απόσταση από τις θερμές πηγές. Το τελικό της βάθος ήταν 130 m, η παροχή της 12 kg/s και η θερμοκρασία των ρευστών 54°C (Andritsos et al., 2010). Ο τύπος των θερμών νερών ήταν $\text{Na-SO}_4\text{HCO}_3$ και το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων 0,5-1 g/L. Εντός του χώρου των Λουτρών κατασκευάστηκε μία γεώτρηση, η οποία χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια (μέχρι το 2019) για τη θέρμανση των κτιριακών εγκαταστάσεων. Η γεώτρηση αυτή παρήγαγε ρευστά θερμοκρασίας 57°C (Andritsos et al., 2010). Μία ακόμη παραγωγική γεώτρηση συνάντησε ρευστά με θερμοκρασία $36-38^\circ\text{C}$, ενώ η παροχή της είναι 10 kg/s (Andritsos et al., 2010).

3.4.3 Νέο Ρύσιο Θεσσαλονίκης:

Στην περιοχή του Νέου Ρύσιου κατασκευάστηκαν δύο γεωθερμικές γεωτρήσεις, βάθους 655 m και 442 m αντίστοιχα. Η βαθύτερη απ' αυτές, συνάντησε γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 40°C , ενώ η άλλη παρήγαγε ρευστά 32°C (Andritsos et al., 2010). Μία ακόμη γεωθερμική γεώτρηση ανορύχθηκε στην ίδια περιοχή το 2007, με

θερμοκρασία ρευστών 31°C, παροχή 14 Kg/s και Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων 0,56 g/L (Andritsos et al., 2010).

3.4.4 Ριζα-Αντίρριο

Πρόκειται για μία περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος στο βορειότερο τμήμα του Κορινθιακού κόλπου, ήδη γνωστή από τις έρευνες των προηγούμενων ετών. Τα θερμά νερά εντοπίστηκαν μέσα σε Ηωκαινικούς ασβεστόλιθους, σε βάθος 200 m. Οι δύο γεωτρήσεις που κατασκευάστηκαν την περίοδο 2005-2006, GL-1 (ερευνητική) και GLP-1 (παραγωγική), έφτασαν σε βάθος 257 m και 229 m, αντίστοιχα (Andritsos et al., 2010). Η μέγιστη θερμοκρασία στην GL-1 ήταν 37°C (Andritsos et al., 2010). Η GLP-1 παρήγαγε ρευστά με θερμοκρασία 36°C και παροχή 25 kg/s, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των Na-Cl, με το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων να είναι 46 g/l (Andritsos et al., 2010), τιμή ιδιαίτερας υψηλής.

3.4.5 Δαμάστα (Λεκάνη Σπερχειού)

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού παρουσίαζε από την αρχαιότητα ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, λόγω των πολλών θερμών πηγών της (Θερμοπύλες, Υπάτη, Πλατύστομο κτλ). Κατά το διάστημα Ιούνιος 2004-Σεπτέμβριος 2007, κατασκευάστηκαν συνολικά εννέα (9) γεωτρήσεις, κοντά στις θέσεις των θερμών πηγών. Οι γεωτρήσεις SP-P1, SP-A1, SP-Y1, SP-L1, ήταν ερευνητικές και ανορύχθηκαν στις περιοχές της Παλαιόβραχας, της Υπάτης, των Αρχάνων και της Στυλίδας. Τα βάθη ήταν από 243 ως 378m και οι θερμοκρασίες κυμαίνονταν μεταξύ 19°C και 25°C (Andritsos et al., 2010). Οι υπόλοιπες πέντε γεωτρήσεις, κατασκευάστηκαν στην περιοχή της Δαμάστας, η οποία βρίσκεται 5 Km μακριά από τα λουτρά των Θερμοπυλών. Το γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας «Δαμάστας» επιβεβαιώθηκε και οριοθετήθηκε μέσω των ερευνητικών γεωτρήσεων SP-D1, SP-D2, SP-D3, SP-D4 και της παραγωγικής SP-DP1, οι περισσότερες από τις οποίες ήταν ρηχές, αλλά με σημαντικές θερμοκρασίες σε μικρά βάθη. Η SP-D1 είχε βάθος 157 m και παρήγαγε ρευστά 41°C με παροχή 14 kg/s (Andritsos et al., 2010). Η SP-D2 ήταν επίσης μικρού βάθους (130 m), αλλά με θερμοκρασία 43°C μόλις στα 50-60 m (Andritsos et al., 2010). Η SP-D3 ήταν η πιο βαθιά, με τελικό βάθος 332 m, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία των 41°C σημειώθηκε στα 320 m (Andritsos et al., 2010). Στην SP-D4, η μέγιστη θερμοκρασία που μετρήθηκε ήταν 39°C στα 280 m, ενώ το τελικό της βάθος έφτασε τα 317 m (Andritsos et al., 2010). Η παραγωγική γεώτρηση SP-DP1, ήταν αρκετά ρηχή, (108 m) αλλά η πιο θερμή στην περιοχή, με ρευστά

θερμοκρασίας 44°C και παροχή 32 kg/s (Andritsos et al., 2010). Το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων στα γεωθερμικά ρευστά της συγκεκριμένης γεώτρησης ήταν 35 g/l, (Na-Cl νερά).

3.4.6 Βόρεια Εύβοια

Η γεωθερμική έρευνα στη βόρεια Εύβοια, επικεντρώθηκε σε τρεις περιοχές: Λιχάδα, Αιδηψό και λίμνη Ροβιές. Στη Λιχάδα, την περίοδο 2004-2007 ανορύχθηκαν επτά γεωτρήσεις, πέντε ερευνητικές και δυο παραγωγικές. Οι πέντε ερευνητικές γεωτρήσεις έφτασαν σε βάθη 72-274 m και τα θερμά νερά θερμοκρασίας 36-41°C εντοπίστηκαν μέσα σε Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς και σε Τριαδικούς–Ιουρασικούς ασβεστόλιθους (Andritsos et al., 2010). Στην παραγωγική γεώτρηση (P-1), το τελικό βάθος ήταν 255 m και η μέγιστη θερμοκρασία των 40°C σημειώθηκε στα 210 m (Andritsos et al., 2010). Τα θερμά νερά είναι τύπου Na-Cl, η παροχή τους ήταν αρκετά μεγάλη (30 kg/s), ενώ το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων προσδιορίστηκε στα 39 g/l. Η δεύτερη γεώτρηση παραγωγής (P-2), είχε τελικό βάθος 310 m και μέγιστη θερμοκρασία 44°C, στα 290 m (Andritsos et al., 2010). Η μέση παροχή ήταν 22 kg/s και τα ρευστά ανήκουν, και σε αυτήν την περίπτωση, στην κατηγορία Na-Cl νερών. Το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων ήταν 40 g/l. Οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες που συνάντησαν οι γεωτρήσεις, εντοπίστηκαν στα 45-270 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε Μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα, από άποψη θερμοκρασίας, γεώτρηση κατασκευάστηκε στην περιοχή της Αιδηψού και έφτασε σε βάθος 374 m. Η μέγιστη θερμοκρασία της ήταν 80°C, στα 350 m (Andritsos et al., 2010). Στη λίμνη Ροβιές ανορύχθηκαν δυο γεωτρήσεις έρευνας: L-1 και L-2. Η πρώτη είχε βάθος 290 m και μέγιστη θερμοκρασία 29°C στα 250 m (Andritsos et al., 2010). Η δεύτερη γεώτρηση έφτασε σε τελικό βάθος 252 m και η μέγιστη θερμοκρασία της ήταν 28°C, που μετρήθηκε σχεδόν στον πυθμένα της, στα 240 m (Andritsos et al., 2010).

3.4.7 Θεσσαλία

Κοντά στα χωριά Καρυές και Νίκαια, νότια της πόλης της Λάρισας, κατασκευάστηκε γεώτρηση τελικού βάθους 350 m που παρήγαγε θερμά νερά θερμοκρασίας 40°C (Andritsos et al., 2010).

3.4.8 Χίος

Η κατασκευή των νέων γεωθερμικών γεωτρήσεων στη Χίο (στα Νένητα και στα Θυμανά) είχε ξεκινήσει τον Νοέμβριο του 2003 και ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του 2006. Οι πέντε γεωτρήσεις έρευνας, GTH-1, GTH-2, GTH-3, GTH-4 και GTH-5, είχαν τελικό βάθος 150-473 m και παρήγαγαν γεωθερμικά νερά θερμοκρασίας 31-39°C (Andritsos et al., 2010). Η μέγιστη θερμοκρασία των μετρήθηκε στη γεώτρηση GTH-5. Η γεωθερμική έρευνα στο νησί περιελάμβανε και την κατασκευή δυο γεωτρήσεων παραγωγής. Η πρώτη, GTHP-1, έφτασε σε 102m, με θερμοκρασία 31°C (Andritsos et al., 2010). Τα ρευστά ανήκουν στην κατηγορία των Na-Cl νερών, με παροχή 18 kg/s και Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων 38 g/l (Andritsos et al., 2010). Στη δεύτερη γεώτρηση παραγωγής, CHNP-1, που κατασκευάστηκε στα Νένητα, η θερμοκρασία στα 340m, που ήταν και το τελικό της βάθος, ανήλθε στους 83°C (Andritsos et al., 2010). Η παροχή της ήταν 25 kg/s και το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων 74 g/L. Τα ρευστά κατατάσσονται στην κατηγορία των Na-Cl νερών (Andritsos et al., 2010).

3.4.9 Λέσβος

Στην περιοχή του Πολιχνίτου, κατασκευάστηκε μια παραγωγική γεώτρηση (YG-14A) στο πλαίσιο πιλοτικού προγράμματος για τη θέρμανση κάποιων δημοτικών κτηρίων με τη βοήθεια της γεωθερμίας. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της γεώτρησης πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ. Η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών έφτασε τους 88°C (Andritsos et al., 2010).

Επίσης, τρεις ερευνητικές γεωτρήσεις ανορύχθηκαν στην περιοχή της Στύψης για λογαριασμό της ΔΕΗ, με σκοπό την ανεύρεση κατάλληλων γεωθερμικών ρευστών για ηλεκτροπαραγωγή. Η πρώτη γεώτρηση, S-1, έφτασε μέχρι το βάθος των 1400 m και βρήκε ρευστά θερμοκρασίας 80°C (Andritsos et al., 2010). Η δεύτερη, η STE-1, είχε τελικό βάθος 350 m και παρήγαγε ρευστά θερμοκρασίας 106°C, ενώ η τρίτη, STE-2, έφτασε στα 1000 m και βρήκε θερμοκρασίες 101°C (Andritsos et al., 2010).

Στην περιοχή της Αργένου, στο βόρειο τμήμα του νησιού, κατασκευάστηκαν δυο ακόμη ερευνητικές γεωτρήσεις στα 700 και 500 m βάθος, αλλά και στις δύο η γεωθερμική βαθμίδα ήταν αρνητική.



Εικόνα 28: Γεώτρηση στην περιοχή του Πολιχνίτου (Andritsos et al., 2010)

3.5 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2010-2015

Την πενταετία 2010-2015 η γεωθερμική έρευνα ήταν σχετικά περιορισμένη και αφορούσε ήδη γνωστά γεωθερμικά πεδία, με σκοπό την περαιτέρω και λεπτομερέστερη διερεύνησή τους.

3.5.1 Σιδηρόκαστρο Ν. Σερρών

Η περιοχή του Σιδηροκάστρου, ανήκε στην κατηγορία των «πιθανών» γεωθερμικών πεδίων. Προκειμένου να επιβεβαιωθεί το γεωθερμικό του δυναμικό και να οριοθετηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η γεωθερμική ανωμαλία, σχεδιάστηκαν και χωροθετήθηκαν από το ΙΓΜΕ τέσσερις νέες γεωθερμικές παραγωγικές γεωτρήσεις. Με βάση τις προϋπάρχουσες μελέτες για την περιοχή, οι αναμενόμενες θερμοκρασίες ήταν της τάξης των 75°C, σε βάθη από 100-300 m (Papachristou et al., 2016b).

3.5.2 Λιθότοπος-Ηράκλεια Σερρών

Έγινε διεξοδική διερεύνηση της περιοχής ενδιαφέροντος από το ΙΓΜΕ και πραγματοποίηση γεωλογικών μελετών, γεωφυσικών διασκοπήσεων, γεωχημικής έρευνας κλπ (Papachristou et al., 2016b). Στόχων των επιφανειακών ερευνών ήταν η χωροθέτηση, ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός τεσσάρων (4) νέων γεωθερμικών

γεωτρήσεων έρευνας/παραγωγής. Τόσο η προηγηθείσα έρευνα όσο και η κατασκευή των γεωτρήσεων, οι οποίες προγραμματίστηκαν για την περίοδο 2016-2018, έγιναν στο πλαίσιο προγραμματικής σύμβασης του ΙΓΜΕ με τον Δήμο Ηράκλειας για την έρευνα και αξιοποίηση του ομώνυμου γεωθερμικού πεδίου.

3.5.3 Νέο Εράσμιο (Ξάνθη)

Εντός του γεωθερμικού πεδίου χαμηλής θερμοκρασίας Ερασμίου -Μαγγάνων, ανορύχθηκαν δύο γεωτρήσεις παραγωγής (σε βάθη ~250m) και μία επανεισαγωγής, στο πλαίσιο της αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση θερμοκηπίων. Οι γεωτρήσεις συνάντησαν ρευστά με θερμοκρασία 60°C.

3.5.4 Λήμνος

Εκπονήθηκε εκτεταμένη προκαταρκτική έρευνα από το ΙΓΜΕ, η οποία περιελάμβανε υπαίθριες παρατηρήσεις για την αποτύπωση των γεωλογικών και τεκτονικών δομών που θεωρούνται ευνοϊκές για τη γεωθερμία, καθώς και μετρήσεις θερμοκρασίας, δειγματοληψίες και χημικές αναλύσεις από θερμές πηγές και υδρογεωτρήσεις. Η αναγνωριστική αυτή έρευνα κατέληξε στην αναγνώριση μιας νέας περιοχής γεωθερμικού ενδιαφέροντος—στο νοτιοανατολικό κομμάτι του νησιού (Μούντρος). Στην συγκεκριμένη περιοχή, η θερμοκρασία των νερών στην κεφαλή των γεωτρήσεων (βάθη 70-105 m), ήταν από 24 έως 29,6°C (Papachristou et al., 2016a).

3.5.5 Λέσβος

Μια νέα επιφανειακή έρευνα περιελάμβανε γεωλογική και τεκτονική μελέτη, γεωφυσικές διασκοπήσεις, θερμομετρήσεις σε πηγές και υπάρχουσες γεωτρήσεις, καθώς και δειγματοληψίες νερού και αναλύσεις στο ανατολικό τμήμα του νησιού (Ξενάκης, κ. ά., 2016). Οι προκαταρκτικές εργασίες οδήγησαν στον εντοπισμό μιας πολύ ενδιαφέρουσας περιοχής κοντά στην Μυτιλήνη, όπου ρηχές (έως 150 m βάθος) γεωτρήσεις παρήγαγαν νερά με θερμοκρασία 30-33°C.

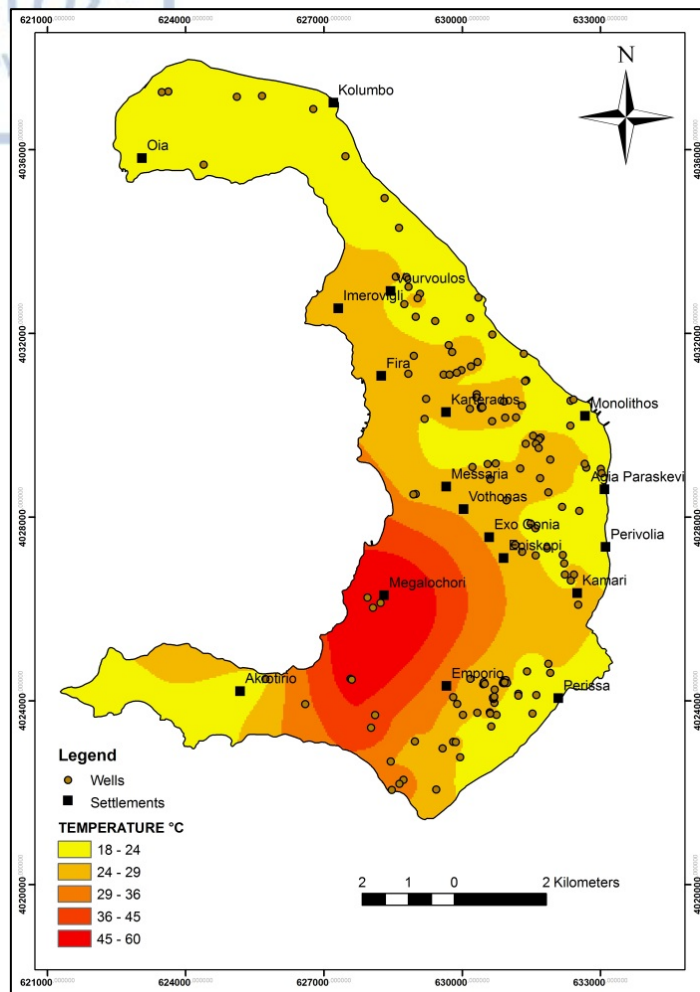
3.5.6 Σαντορίνη

Το 2014, το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών), σε συνεργασία με το Τμήμα Γεωλογίας του ΑΠΘ ξεκίνησαν ένα ερευνητικό πρόγραμμα που στόχευε στην αναγνώριση και αξιολόγηση των (πολύ) ρηχών γεωθερμικών πόρων της Σαντορίνης. Η έρευνα, η οποία έγινε για λογαριασμό του Δήμου Θήρας, ήταν αναγνωριστική και περιελάμβανε θερμομετρήσεις σε 141 γεωτρήσεις και

πηγάδια σε όλο την Σαντορίνη και στην Θηρασία (Εικόνα 29) και δειγματοληψίες/χημικές αναλύσεις από υπάρχουσες υδρογεωτρήσεις. Εκτός από την ήδη γνωστή γεωθερμική ανωμαλία στο νότιο μέρος του νησιού, όπου υπάρχει το «πιθανό» γεωθερμικό πεδίο χαμηλής θερμοκρασίας (περιοχή Μεγαλοχωρίου-Εμπορείου), η συγκεκριμένη έρευνα υπέδειξε μια νέα περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος στο κεντρικό τμήμα της Σαντορίνης (Εικόνα 29), μεταξύ των περιοχών Βουρβούλος-Φηρά-Μονόλιθος-Βόθωνας και Καμάρι (Papachristou et al., 2016a). Ανατολικά του οικισμού των Φηρών, η θερμοκρασία στην κεφαλή πολύ ρηχών υδρογεωτρήσεων (40-190m) ήταν από 23,4 ως 27,7°C. Κοντά στον Μονόλιθο (περιοχή αεροδρομίου Θήρας), οι θερμοκρασίες ήταν της τάξης των 26°C σε γεωτρήσεις που δεν ξεπερνούσαν τα 75m βάθος. Οι ίδιες περίπου θερμοκρασίες μετρήθηκαν και στις υπόλοιπες περιοχές όλης αυτής της ζώνης.

Οι αναλύσεις δειγμάτων νερού τόσο στην κεντρική Σαντορίνη, όσο και εντός του γεωθερμικού πεδίου, έδειξαν ότι, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, τα νερά είναι υφάλμυρα (Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων > 1000mg/l) και κατατάσσονται στην κατηγορία των Cl-SO₄ νερών. Σε κάποια από τα δείγματα ανιχνεύτηκαν ποσότητες αρσενικού (As) υψηλότερες από τις επιτρεπόμενες για το πόσιμο νερό. Η αυξημένη περιεκτικότητα σε αρσενικό στα θερμά νερά γενικά αποδίδεται στην κυκλοφορία τους μέσα στα ηφαιστειακά πετρώματα (Valentino & Stazione, 2004).

Τα γεωθερμόμετρα έδειξαν ότι η εκτιμώμενη αρχική θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι 140-150°C (Papachristou et al., 2016a). Γεωθερμικοί ταμιευτήρες με αυτή τη θερμοκρασία αναμένεται να υπάρχουν μέσα στο προ-ηφαιστειακό γεωλογικό υπόβαθρο (καρστικοποιημένοι και τεκτονισμένοι ασβεστόλιθοι), σε βάθη σίγουρα μεγαλύτερα των 500m, και πιθανότατα στα 800-1000 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 29: Χωρική κατανομή των θερμοκρασιών που μετρήθηκαν στην κεφαλή υδρογεωτρήσεων στην Σαντορίνη (Papachristou et al., 2016a)

3.5.7 Ανατολική Θεσσαλία

Στην περιοχή της ανατολικής Θεσσαλίας πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική έρευνα σε τέσσερις περιοχές. Στην περιοχή Φάρου-Παλιουρίου, βρέθηκε υδρογεώτρηση βάθους 270 m με αυξημένη θερμοκρασία στην κεφαλή της (39,9°C). Στις περιοχές Χάλκης-Κιλελέρ και Μικροθηβών-Αλμυρού, οι υδρογεωτρήσεις και οι αρδευτικές γεωτρήσεις με βάθη ως 280m, έχουν νερό με θερμοκρασίες 16,6-19,6 °C και 17,9-30,2 αντίστοιχα (Papachristou et al., 2016). Βόρεια των Φαρσάλων, στην περιοχή Κρήνη-Ζωοδόχου Πηγής-Αγίου Γεωργίου, οι θερμοκρασίες στην κεφαλή των γεωτρήσεων κυμαίνεται μεταξύ 20,3 και 26,3°C. Η έρευνα επικεντρώθηκε κυρίως στην περιοχή Αμπελιάς-Φαρσάλων, όπου κάποιες αρδευτικές γεωτρήσεις σε βάθη 235-410m είχαν χαμηλής αλατότητας νερά με αυξημένη θερμοκρασία (35,1-41,3°C), υποδεικνύοντας ότι η περιοχή με βεβαιότητα παρουσιάζει γεωθερμικό ενδιαφέρον (Papachristou et al., 2016b). Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από

τις γεωλογικές και τεκτονικές παρατηρήσεις, τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων, τις θερμομετρήσεις και τις χημικές αναλύσεις, καθορίστηκε η θέση τεσσάρων μεγάλης διαμέτρου ερευνητικών γεωτρήσεων, οι οποίες είχαν προγραμματιστεί για το αμέσως επόμενο διάστημα.

3.6 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2015-2020

3.6.1 Σιδηρόκαστρο

Οι τέσσερις γεωθερμικές γεωτρήσεις που είχαν προγραμματιστεί για τις αρχές του 2020 δεν πραγματοποιήθηκαν τελικά, λόγω της πανδημίας COVID-19 και της αναστολής όλων σχεδόν των υπαίθριων γεωθερμικών εργασιών. Η ανόρυξή τους αναμένεται να ξεκινήσει εντός του 2021.

3.6.2 Λιθότοπος –Ηράκλεια

Το 2018 ολοκληρώθηκαν η κατασκευή και οι δοκιμές παραγωγής των τεσσάρων γεωθερμικών (Li-1P ως Li-4P) που είχαν προγραμματιστεί την προηγούμενη περίοδο. Τα βάθη των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 250 ως 520 m. Τα γεωθερμικά ρευστά εντοπίστηκαν μέσα σε ενστρώσεις και φακούς κροκαλοπαγών, λατυποπαγών, ψαμμιτών, άμμου και στα πρώτα μέτρα του κατακερματισμένου υποβάθρου (Αγγελίδης, 2021). Η θερμοκρασία των ρευστών κατά την άντληση ήταν μεταξύ 37,5 και 74,5 °C (Papachristou et al., 2020). Η χαμηλή θερμοκρασία (37,5°C) σε μία από τις τέσσερις γεωτρήσεις οφείλεται στην ανάμειξη των θερμών νερών με ρηχότερους και ψυχρότερους υδροφόρους. Οι ρηχοί αυτοί υδροφορείς υδρομαστεύτηκαν προκειμένου να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ποσότητα αντλούμενων ρευστών, διότι γενικώς οι παροχές των γεωτρήσεων είναι μικρές (5-80 m³/h). Στον πυθμένα των γεωτρήσεων η θερμοκρασία των ρευστών μετρήθηκε από 54 ως 75°C. Σημειώνεται ότι όλες τις γεωτρήσεις είχαν αρτεσιανή ροή (από 1,5 ως 25 m³/h)

3.6.3 Νιγρίτα

Ανορύχθηκε μία νέα παραγωγική γεώτρηση σχετικά μικρού βάθους (216 m), η οποία παράγει ρευστά με πολύ υψηλή παροχή (240-250 m³/h) και θερμοκρασία 61°C (Papachristou et al., 2020).

3.6.4 Ακροπόταμος

Στο γεωθερμικό πεδίο Ακροποτάμου, το οποίο είχε μελετηθεί διεξοδικά τα προηγούμενα χρόνια, πραγματοποιήθηκαν επιπρόσθετες μελέτες και δοκιμές

παραγωγής σε προ-υπάρχουσες γεωθερμικές γεωτρήσεις, στο πλαίσιο της αξιοποίησης του πεδίου. Οι καταγεγραμμένες θερμοκρασίες στους βαθύτερους υδροφορείς (515 m) ήταν 90°C, ενώ σε μικρότερα βάθη (130 m και 230 m) ήταν 46°C και 85°C, αντίστοιχα (Papachristou et al., 2020).. Πιο συγκεκριμένα, στη γεώτρηση AKR-1, η οποία παρουσιάζει αρτεσιανισμό, τα ρευστά έχουν θερμοκρασία 84°C, πίεση 1,4-1,5 bar και παροχή 220-230 m³/h (Papachristou et al., 2020). Από, την επίσης αρτεσιανή, γεώτρηση AKR-3, παράγονται ρευστά 90°C, χαμηλής πίεσης (0,5 bar) και με παροχή 150-160 m³/h (Papachristou et al., 2020). Επειδή το γεωθερμικό δυναμικό της περιοχής αναμένεται να αξιοποιηθεί στο άμεσο μέλλον, έχει προταθεί η κατασκευή νέων, μεγαλύτερης διαμέτρου, παραγωγικών γεωτρήσεων, ως αντικατάσταση των παλαιότερων.

3.6.5 Νέο Εράσμιο-Μάγγανα

Το 2015 ανορύχθηκαν δυο παραγωγικές γεωτρήσεις βάθους 255 και 243 m, αντίστοιχα. Κάθε γεώτρηση παράγει περίπου 120 m³/h γεωθερμικών ρευστών με θερμοκρασίες μεταξύ 57 και 59 °C (Papachristou et al., 2020). Το 2019 κατασκευάστηκαν ακόμη δυο παραγωγικές γεωτρήσεις, βάθους 258m και 332m, αντίστοιχα., οι οποίες παράγουν ρευστά θερμοκρασίας 62 και 70,2 °C και έχουν παροχή 120-160 m³/h (Papachristou et al., 2020). Οι 70,2°C είναι η υψηλότερη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί στο συγκεκριμένο πεδίο.

3.6.6 Αρίστηνο

Το 2016, κατασκευάστηκε μια νέα γεώτρηση έρευνας/παραγωγής, η οποία έφτασε σε βάθος 410 m και διέτρησε και τα δύο γεωθερμικά συστήματα (ρηχό στα 100-200m και κατώτερο 200 έως >400m), χωρίς όμως να διαπεράσει εξ' ολοκλήρου τον βαθύτερο ταμιευτήρα. Η θερμοκρασία των αντλούμενων ρευστών στην κεφαλή της γεώτρησης ανέρχεται στους 99°C, η υψηλότερη που έχει καταγραφεί όχι μόνο στο συγκεκριμένο γεωθερμικό πεδίο αλλά σε όλα τα πεδία της βόρειας Ελλάδας. Παρόλα αυτά, η μέγιστη παροχή της δεν ξεπερνά τα 45 m³/h (Papachristou et al., 2020).

Το γεωθερμικό πεδίο του Αρίστηνου αποτελεί μια περιοχή υπό διαρκή γεωθερμική έρευνα. Πρόσφατα (Ιούλιος 2021) διενεργήθηκαν από το ΑΠΘ (Τμήμα Γεωλογίας) γεωφυσικές διασκοπήσεις για την καλύτερη κατανόηση των δομών του υπεδάφους που συμβάλουν στη διαμόρφωση της σημαντικής γεωθερμικής ανωμαλίας. Επίσης, υπό εξέλιξη βρίσκεται νέα γεωχημική μελέτη των θερμών ρευστών, ενώ άμεσα πρόκειται να κατασκευαστούν νέες παραγωγικές γεωτρήσεις για

την αξιοποίηση του δυναμικού χαμηλής θερμοκρασίας. Θα πρέπει οπωσδήποτε να αναφερθεί ότι στα άμεσα σχέδια τόσο της Πολιτείας όσο και του Δήμου Αλεξανδρούπολης, είναι η διενέργεια της σχετικής έρευνας και η ανόρυξη βαθύτερων γεωτρήσεων, με σκοπό την εύρεση ρευστών μέσης ενθαλπίας που θα χρησιμοποιηθούν για ηλεκτροπαραγωγή.

3.6.7 Λήμνος

Η αναγνωριστική-προκαταρκτική έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, κατέληξε στον εντοπισμό μιας νέας ζώνης γεωθερμικού ενδιαφέροντος στην περιοχή του Μούνδρου, όπου σε πολύ ρηχές υδρογεωτρήσεις βάθους 70-105 m, μετρήθηκαν θερμοκρασίες 24 και 29,6 °C (Arvanitis et al., 2016).

3.6.8 Αιδηψός-Εύβοια

Ολοκληρώθηκε η ερευνητική δραστηριότητα που είχε ξεκινήσει την προηγούμενη περίοδο και αφορούσε την απογραφή και τη γεωχημική μελέτη των θερμών πηγών της περιοχής (υποθαλάσσιες και στην ενδοχώρα) ώστε να εκτιμηθεί η γεωθερμική-γεωχημική κατάσταση του πεδίου. Διαπιστώθηκε ότι η κύρια γεωθερμική ανωμαλία εκτείνεται σε μια μεγάλη ζώνη στην ευρύτερη περιοχή των Λουτρών Αιδηψού, με θερμοκρασίες 70-82°C. Η ανωμαλία αναπτύσσεται κατά μήκος δύο αξόνων, ενός κύριου με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και ενός δευτερεύοντος με ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση, οι οποίες ταυτίζονται με τα κύρια ρήγματα της περιοχής (Βακαλόπουλος κ. ά., 2016). Οι χημικές αναλύσεις έδειξαν ότι τα θερμά ρευστά κυκλοφορούν μέσα σε ασβεστολιθικά πετρώματα, οπότε εμπλουτίζονται σε ασβέστιο. Φτάνοντας στην επιφάνεια, λόγω μείωσης της πίεσης και της θερμοκρασίας, αποθέτουν CaCO_3 δημιουργώντας τραβερτινοειδείς αποθέσεις. Η ανίχνευση μεταλλικών στοιχείων στα θερμά νερά, όπως είναι το νικέλιο (Ni) και ο χαλκός (Cu), δείχνει την αλληλεπίδραση των ρευστών με τα οφιολιθικά υπερβασικά πετρώματα του υποβάθρου. Η υψηλή περιεκτικότητά σε ιόντα Na και Cl, σε συνδυασμό με ισοτοπικά δεδομένα, υποδεικνύουν ανάμειξη βαθύτερων γεωθερμικών ρευστών με το θαλασσινό νερό (Βακαλόπουλος κ. ά., 2016). Από την εφαρμογή γεωθερμομέτρων (Χατζής κ.ά., 2008, Dotsika, 2015, Kanellopoulos et al., 2016) προκύπτει ότι η αρχική θερμοκρασία των ρευστών είναι της τάξης των 160°C. Για τη λεπτομερέστερη έρευνα της γεωθερμικής κατάστασης στην περιοχή της Αιδηψού, το ΙΓΜΕ πρότεινε την



κατασκευή μιας βαθιάς ερευνητικής γεώτρησης, η οποία όμως λόγω της ύπαρξης της ζώνης προστασίας των θερμοπηγών είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί λόγω γραφειοκρατικών διαδικασιών, τουλάχιστον άμεσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Παρόλο που η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα δεν αποτελεί αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας, εντούτοις, επειδή η γεωθερμική έρευνα συνδέεται άμεσα και τη χρήση της γεωθερμίας, ακολουθεί σύντομη αναφορά και σε αυτό το θέμα.

4.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, στην Ελλάδα υπάρχουν δύο βεβαιωμένα πεδία με ρευστά πολύ υψηλής θερμοκρασίας, κατάλληλα για γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή: στη Μήλο και στη Νίσυρο. Παρόλα αυτά, τριάντα (30) χρόνια μετά την οριστική διακοπή λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στη Μήλο (2MWe), η χώρα μας εξακολουθεί να μην αξιοποιεί το γεωθερμικό της δυναμικό για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Κάποιες προσπάθειες που έγιναν την περασμένη δεκαετία για επανέναρξη τέτοιων διαδικασιών σε άλλες περιοχές (π.χ. Σαμοθράκη, Χίος, Ακροπόταμος κλπ), δεν τελεσφόρησαν για λόγους άσχετους με τη γεωθερμική ενέργεια (Andritsos et al., 2015; Papachristou et al., 2016b).

Τον Ιούλιο του 2018, ολοκληρώθηκε ο διαγωνισμός που είχε προκηρυχθεί ένα έτος νωρίτερα από την εταιρεία ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε. για την εύρεση στρατηγικού εταίρου με σκοπό την κατασκευή και λειτουργία μικρών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία (5-8 MWe) στις περιοχές της Λέσβου, των Μεθάνων, της Μήλου, της Κιμώλου και της Νισύρου (Papachristou et al., 2020).

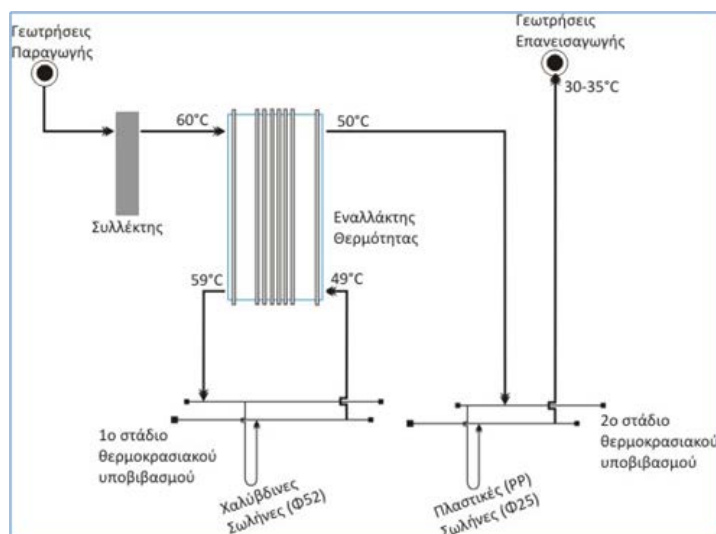
Το 2021, υπεγράφη η σύμβαση μεταξύ της ΔΕΗ Α.Ε. και της ιδιωτικής εταιρείας που αναδείχθηκε πλειοδότης του εν λόγω διαγωνισμού και αναμένονται να αρχίσουν σύντομα οι ερευνητικές εργασίες στις παραπάνω πέντε περιοχές.

4.2 ΑΜΕΣΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς που αφορά σε άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας στην Ελλάδα υπολογίζεται 84,45 MWth (Papachristou et al., 2020). Οι κυριότερες εφαρμογές που αξιοποιούν τη γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας στη χώρα μας αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

Λουτροθεραπεία: Πρόκειται για την παλαιότερη και πιο διαδεδομένη χρήση της γεωθερμίας στην Ελλάδα, αλλά και σε όλο τον κόσμο. Στην Ελλάδα λειτουργούν περισσότερες από 70 λουτροπόλεις και 25 εξωτερικές πισίνες με γεωθερμικό νερό. Η θερμοκρασία του νερού που φτάνει στις εγκαταστάσεις των λουτρών κυμαίνεται μεταξύ 35-39 °C. Η εγκατεστημένη ισχύς από τη χρήση της λουτροθεραπείας υπολογίζεται στα 43 MWth (Papachristou et al., 2020).

Θέρμανση θερμοκηπίων: Υπάρχουν περισσότερα από δεκαοκτώ (18) «γεωθερμικά» θερμοκήπια, τα περισσότερα στη βόρεια Ελλάδα. Παράγουν κυρίως λαχανικά, φρούτα και άνθη. Το 2014 ξεκίνησε η μεγαλύτερη επένδυση στην εγχώρια αγορά της γεωθερμίας, με την κατασκευή 40 στρεμμάτων υδροπονικών θερμοκηπίων τομάτας και αγγουριού στο γεωθερμικό πεδίο Νέου Ερασμίου-Μαγγάνων Ξάνθης. Η συνολική έκταση της μονάδας αυτής ανέρχεται πλέον σε 200 στρέμματα και θερμαίνεται με θερμά νερά από έξι παραγωγικές γεωτρήσεις. Η εγκατεστημένη ισχύς από τη χρήση της γεωθερμίας στη θέρμανση θερμοκηπίων είναι 38 MWth (Papachristou et al., 2020). Η σχηματική απεικόνιση του συστήματος θέρμανσης από γεωθερμία περιγράφεται στην Εικόνα 30



Εικόνα 30: Σχηματική αποτύπωση της διάταξης θέρμανσης στα γεωθερμικά θερμοκήπια του Νέου Ερασμίου Ξάνθης (Αδαμπακίης κ.ά, 2015)

Θέρμανση εδάφους: Γεωθερμικά ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση εδάφους ανοικτών καλλιέργειών στο Νέο Εράσμιο (Εικόνα 31) και στο Μυρωδάτο της Ξάνθης, με σκοπό πρώιμη παραγωγή σπαραγγιών και άλλων λαχανικών. Η ισχύς ανέρχεται στα 0,83 MWth (Papachristou et al., 2020).



Εικόνα 31: Θερμαινόμενες φυτείες σπαραγγιών στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης (Δαλαμπάκης κ.ά., 2015)

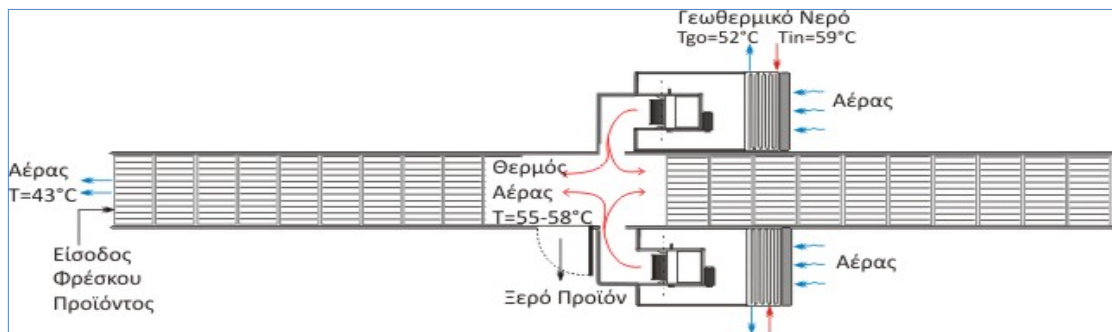
Υδατοκαλλιέργειες: Χρήση της γεωθερμίας για την καλλιέργεια του κυανοφύκους σπιρουλίνα γίνεται από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 στο γεωθερμικό πεδίο Θερμών Νιγρίτας στις Σέρρες. Στο συγκεκριμένο πεδίο, εκτός από τις υψηλές θερμοκρασίες ($\sim 60^{\circ}\text{C}$) τα ρευστά είναι πλούσια σε CO_2 , που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη της σπιρουλίνας. Η εγκατεστημένη ισχύς στις μονάδες σπιρουλίνας της Νιγρίτας είναι 0,75 MWth (Papachristou et al., 2020).

Ξήρανση αγροτικών προϊόντων: Η μοναδική μονάδα γεωθερμικής ξήρανσης/αφυδάτωσης αγροτικών προϊόντων που λειτουργεί στην Ελλάδα βρίσκεται στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης. Τα ρευστά θερμοκρασίας 58°C , θερμαίνουν, μέσω κατάλληλου εναλλάκτη, τον αέρα που κυκλοφορεί στις σήραγγες αποξήρανσης (Εικόνα 32) όπου τοποθετούνται τα προϊόντα (κυρίως τομάτες, αλλά και ελιές, σπαράγγια, τριφύλλι, μήλα κλπ). Πρόκειται για μία επιτυχημένη και πολύ πρωτοποριακή μέθοδο αξιοποίησης της γεωθερμίας χαμηλής θερμοκρασίας, δεδομένου ότι σε ανάλογες περιπτώσεις γεωθερμικής ξήρανσης παγκοσμίως χρησιμοποιούνται ρευστά με πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες ($>90^{\circ}\text{C}$) (Papachristou et al., 2020).

Θέρμανση χώρων: Η γεωθερμική ενέργεια ($30\text{-}90^{\circ}\text{C}$) χρησιμοποιείται ελάχιστα για τη θέρμανση μεμονωμένων χώρων στην Ελλάδα. Σε αυτές περιλαμβάνονται ένα σχολικό κτίριο στην Τραϊανούπολη, δυο μικρά ξενοδοχεία και οι λουτρικές εγκαταστάσεις των Λουτρών Νέας Απολλωνίας (μέχρι το 2019 οπότε και διεκόπη η λειτουργία των Λουτρών) και των λουτρών Τραϊανούπολης, οι διοικητικές εγκαταστάσεις των θερμοκηπίων στο Νέο Εράσμιο και μερικές ιδιωτικές κατοικίες στη Βόρεια Ελλάδα. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι 1,65 MWth (Papachristou et al., 2020).



Εικόνα 32: Γεωθερμικό ξηραντήριο στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης (προσωπικό αρχείο της Μ. Παπαχρήστου)



Εικόνα 33: Κάτοψη της σήραγγας ξήρανσης για την αφυδάτωση αγροτικών προϊόντων στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης (Δαλαμπάκης κ.ά., 2015)

Τηλεθέρμανση: Μέχρι σήμερα δεν πραγματοποιείται γεωθερμική τηλεθέρμανση στην Ελλάδα, όμως υπάρχει ο σχετικός σχεδιασμός για το άμεσο μέλλον. Η σημαντικότερη προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση έμμεσα, αφορά στο γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου Αλεξανδρούπολης, όπου πρόκειται να λειτουργήσει εντός του 2021 (τουλάχιστον πιλοτικά) δίκτυο τηλεθέρμανσης για τη διανομή θερμικής ενέργειας ισχύος 10MWth, κυρίως για θερμοκήπια (80%) και για τη θέρμανση διαφόρων δημοτικών και δημόσιων κτιρίων και οικισμών. Το συνολικό μήκος των δικτύων μεταφοράς των ρευστών είναι 18km, ενώ οι θερμαινόμενες κτιριακές επιφάνειες θα καλύπτουν έκταση 8.000 τ.μ. Τα δίκτυο θα τροφοδοτείται από γεωθερμικά νερά θερμοκρασίας 89°C και συνολικής παροχής 150 m³/h. Η διαχείριση του έργου αλλά και συνολικά του γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου εκπονείται στον Δήμο Αλεξανδρούπολης

4.3 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) αποτελεί την πλέον διαδεδομένη χρήση της γεωθερμίας στην Ελλάδα και τον κόσμο. Δεδομένου ότι η αβαθής γεωθερμία αφορά σε θερμοκρασίες μικρότερες των 25-30°C (δηλαδή για τη θερμότητα της γης που δεν ταξινομείται ως «γεωθερμικό δυναμικό»), είναι διαθέσιμη πρακτικά παντού και η χρήση της δεν προϋποθέτει γεωθερμική έρευνα. Αν και δεν γίνεται ακριβής καταγραφή τέτοιων εγκαταστάσεων, εκτιμάται ότι στα τέλη του 2020 περισσότερες από 3.500 μονάδες ΓΑΘ λειτουργούσαν στην Ελλάδα, για τη θέρμανση και την ψύξη κατοικιών αλλά και αρκετών δημόσιων κτιρίων, αθλητικών χώρων κλπ. Η εγκατεστημένη ισχύς από ΓΑΘ υπολογίζεται σε 175 MWth (Papachristou et al., 2020).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωθερμική έρευνα ξεκίνησε στην Ελλάδα αρχές της δεκαετίας του 1970, από τα νησιά Μήλος και Νίσυρος επειδή σε αυτές τις περιοχές υπήρχαν όλες οι προϋποθέσεις για την ύπαρξη γεωθερμικών συστημάτων με πολύ υψηλές θερμοκρασίες, κατάλληλων για ηλεκτροπαραγωγή.

Πράγματι, και στα δύο αυτά νησιά εντοπίστηκαν σημαντικές και εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μεγάλες γεωθερμικές βαθμίδες και ταμιευτήρες ατμού με θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 300-350°C. Τα γεωθερμικά πεδία της Μήλου και της Νισύρου είναι μέχρι σήμερα τα μοναδικά βεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα. Δυστυχώς, το γεωθερμικό δυναμικό τους δεν έχει αξιοποιηθεί όπως θα έπρεπε, εκτός από μια μικρή περίοδο κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1980-αρχές 1990, με τη γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής 2MWe που κατασκευάστηκε στη Μήλο. Η λειτουργία αυτής της μονάδας διακόπηκε μετά από λίγους μόνο μήνες, για λόγους που δεν σχετίζονται με τη γεωθερμία.

Από τη δεκαετία του 1990 και μετά, η γεωθερμική έρευνα επικεντρώθηκε σε άλλα νησιά του Αιγαίου και στην ηπειρωτική χώρα, όπου υπήρχαν ενδείξεις για ύπαρξη γεωθερμικών συστημάτων, κυρίως χαμηλής (25-90°C), αλλά, και μέσης ενθαλπίας (90-150°C). Οι περιοχές που ερευνήθηκαν ήταν νησιά του ηφαιστειακού τόξου όπως η Κως, η Σαντορίνη και η Κίμωλος, τα Μέθανα (στο ανατολικό άκρο του τόξου), η Λήμνος, η Λέσβος, η Χίος, η Σαμοθράκη, η Εύβοια, το τεκτονικό βύθισμα του Σπερχειού, τριτογενείς τεκτονικές λεκάνες της βόρειας Ελλάδας (Δέλτα Νέστου, Δέλτα Έβρου, Στρυμόνα, Μυγδονίας, Κομοτηνής-Ξάνθης κλπ) καθώς και κάποιες μεμονωμένες περιοχές στη δυτική και την κεντρική Ελλάδα.

Σε όλες τις παραπάνω περιοχές βρέθηκαν και οριοθετήθηκαν πολλά πεδία χαμηλής ενθαλπίας (τοπικού ενδιαφέροντος), ενώ ισχυρές ενδείξεις για την ύπαρξη ταμιευτήρων μέσης ενθαλπίας υπάρχουν σε πολλές από αυτές, όπως στο Αρίστηνο (Έβρος), στον Ακροπόταμο Καβάλας (Δέλτα Νέστου), στη Σαμοθράκη, στη Χίο, στη Σαντορίνη, στην Κίμωλο κλπ. Στη Σαμοθράκη, οι θερμοκρασίες σε ρηχές γεωτρήσεις που έχουν γίνει στα Θερμά, μέσα στο χώρο των Λουτρών, ξεπερνούν τους 100°C. Επίσης, στο γεωθερμικό πεδίο του Αρίστηνου, σε μια σχετικά καινούρια γεώτρηση η θερμοκρασία των αντλούμενων ρευστών ανέρχεται στους 99°C. Αντίθετα, η γεωθερμική ανωμαλία είναι πολύ περιορισμένη και με τοπικά χαρακτηριστικά στη

δυτική Ελλάδα και στην Κρήτη, ενώ δεν έχει εντοπιστεί κάτι αξιόλογο στα νησιά του Ιονίου.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για τη γεωθερμία (Ν 4602/2019) τα γεωθερμικά πεδία κατατάσσονται πλέον ως «τοπικού» και «εθνικού» ενδιαφέροντος, ανάλογα με τη θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν όσα έχουν ρευστά με θερμοκρασία 30-90°C και στη δεύτερη, μεγαλύτερη από 90°C. Με βάση λοιπόν τη συγκεκριμένη κατάταξη και τα αποτελέσματα της γεωθερμικής έρευνας, τα πεδία της *Μήλου* και της *Νισύρου* ανήκουν στην κατηγορία των πεδίων εθνικού ενδιαφέροντος, στα οποία πολύ πρόσφατα εντάχθηκε και το πεδίο του *Αρίστηνου*.

Τοπικού ενδιαφέροντος θεωρούνται τα παρακάτω γεωθερμικά πεδία:

- Μακεδονία-Θράκη: Αγκίστρου Σερρών, Σιδηροκάστρου Σερρών, Λιθότοπου Ηράκλειας, Θέρμων Νιγρίτας Ν. Σερρών, Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, Λεκάνης Ανθεμούντα Θεσ/νίκης, Ελαιοχωρίων Χαλκιδικής, Σάνης-Αφύτου Κασσάνδρας, Σαπών, Λίμνης Μητρικού, Κεσσάνης Ξάνθης, Ν. Εράσμιου – Μαγγάνων Ξάνθης, Ερατεινού – Καβάλας, Νέας Απολλωνίας Θεσσαλονίκης, Ακροποτάμου Καβάλας, Νυμφόπετρας Θεσσαλονίκης.
- Ήπειρος –Δυτική Μακεδονία: Συκιών Άρτας, Αετού Φλώρινας.
- Θεσσαλία-Στερεά Ελλάδα: Δαμάστας Φθιώτιδας, Λιχάδων – Εύβοιας
- Πελοπόννησος-Δ. Ελλάδα-Ιόνιο: Σουσακίου Κορινθίας, Ρίζας – Αντιρίου
- Αιγαίο: Αργένου Λέσβου, Στύψης Λέσβου, Πολιχνίτου Λέσβου, Νενήτων Χίου, Σαντορίνης, Μήλου (εκτός πεδίου υψηλών θερμοκρασιών), Θυμιανών Χίου

Τα περισσότερα προγράμματα γεωθερμικής έρευνας στην Ελλάδα υλοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ (νυν ΕΑΓΜΕ) και κάποια από άλλους φορείς, όπως είναι ερευνητικά κέντρα και Πανεπιστήμια, συνήθως σε συνεργασία με το ΙΓΜΕ. Στη Μήλο και τη Νίσυρο, οι έρευνες πραγματοποιήθηκαν από την ENEL (δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού της Ιταλίας) και το ΙΓΜΕ για λογαριασμό της ΔΕΗ. Στην πλειονότητα των περιοχών, εκτός από την επιφανειακή έρευνα έγιναν ερευνητικές και παραγωγικές γεωτρήσεις, που είναι άλλωστε απαραίτητες για τη μελέτη των χαρακτηριστικών, της θέσης και του βάθους των γεωθερμικών ταμιευτήρων, καθώς και την οριοθέτηση της γεωθερμικής ανωμαλίας και του πεδίου. Το σύννηθες βάθος των γεωτρήσεων δεν ξεπερνά τα 500m, με λίγες μόνο εξαιρέσεις σε πεδία της βόρειας Ελλάδας (π.χ. στο Ερατεινό), στη Μήλο, τη Νίσυρο, το Σουσσάκι και τη Λέσβο.

Η γεωθερμική έρευνα σήμερα συνεχίζεται στη βόρεια Ελλάδα, για την περαιτέρω διερεύνηση της γεωθερμικής ανωμαλίας σε ήδη γνωστές γεωθερμικές περιοχές (πχ Λεκάνη Στρυμόνα, Λεκάνη Δέλτα Έβρου) με την ανόρυξη νέων και βαθύτερων γεωτρήσεων. Η ΔΕΗ, στο πλαίσιο επανέναρξης του προγράμματος γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής, θα ξεκινήσει άμεσα νέες έρευνες στη Λέσβο, την Κίμωλο και τα Μέθανα, ενώ νέες ερευνητικές/παραγωγικές γεωτρήσεις θα γίνουν στη Μήλο και τη Νίσυρο, σε διαφορετικές θέσεις από εκείνες που βρισκόταν οι παλιές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας.

Όπως προέκυψε από τη μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων, η γεωθερμική έρευνα κατά τη δεκαετία της οικονομικής κρίσης (2010-2020) ήταν αρκετά περιορισμένη σε σχέση με το παρελθόν, τουλάχιστον όσον αφορά τα ποιοτικά της χαρακτηριστικά (π.χ. λιγότερες γεωτρήσεις, περισσότερες επιφανειακές έρευνες) αλλά και τον αριθμό των περιοχών που μελετήθηκαν. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα, οι περισσότερες ερευνητικές δραστηριότητες συνδέονται σχεδόν αποκλειστικά με την προσπάθεια της τοπικής αυτοδιοίκησης, κυρίως στη βόρεια Ελλάδα, να αξιοποιήσει τη γεωθερμικό δυναμικό στις περιοχές της αρμοδιότητάς της. Ως τέτοια παραδείγματα θα μπορούσαν να αναφερθούν οι Δήμοι Νέστου, Αλεξανδρούπολης, Παγγαίου, Ηράκλειας και Σιντικής, που έχουν μισθώσει τα δικαιώματα έρευνας, εκμετάλλευσης και διαχείρισης των αντίστοιχων γεωθερμικών πεδίων και προχωρούν τις διαδικασίες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, πρωτίστως στον αγροτικό τομέα. Επίσης, σε κάποιες περιοχές, όπως είναι το Νέο Εράσμιο της Ξάνθης, οι πρόσφατες γεωθερμικές δραστηριότητες δεν ήταν αμιγώς ερευνητικές. Ανεξάρτητα όμως για τον λόγο που έγιναν, οι νέες γεωθερμικές γεωτρήσεις παρείχαν σημαντικά επιπλέον στοιχεία για τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού συστήματος της περιοχής.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η γεωθερμική έρευνα είναι κάτι που συνεχίζεται ακόμη και μετά τον εντοπισμό, τη μελέτη και την οριοθέτηση ενός γεωθερμικού πεδίου. Η διαρκής παρακολούθηση των βασικών παραμέτρων των γεωθερμικών ταμιευτήρων (χημισμός, πίεση, θερμοκρασία), κυρίως όταν ένα πεδίο βρίσκεται υπό εκμετάλλευση, είναι απολύτως αναγκαία για την ορθολογική και μακροχρόνια αξιοποίησή τους και συμβάλει ουσιαστικά στην μακροβιότητα της γεωθερμικής πηγής. Για το λόγο αυτό η ΕΑΓΜΕ έχει ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια προσπάθεια παρακολούθησης της διαχρονικής μεταβολής των παραπάνω παραμέτρων σε πολλά σχεδόν τα γεωθερμικά πεδία και σε θερμές πηγές.

Η γεωθερμική έρευνα στην Ελλάδα χρηματοδοτήθηκε τις πρώτες δεκαετίες από τον δημόσιο τομέα, κυρίως μέσω ευρωπαϊκών ή διεθνών προγραμμάτων, όπως φαίνεται από τα δημοσιευμένα στοιχεία (Vrouzi, 1985; Fytikas, 1988; Fytikas et al, 1995; Fytikas et al., 2000, Fytikas et al., 2005, Andritsos et al., 2010, Andritsos et al., 2015, Papachristou et al., 2020) τα ποσά που δαπανήθηκαν για τη γεωθερμική έρευνα τις πρώτες δύο δεκαετίες (1973-1992) ξεπέρασαν με τα 50 εκ. δολάρια (δεν έχει γίνει αναπροσαρμογή με σημερινές τιμές) και όλα προερχόταν από δημόσιες πηγές. Αντίθετα, τις επόμενες δεκαετίες, οι δαπάνες για την έρευνα δεν ξεπέρασαν τα 6 εκ. δολάρια.

Σήμερα, η γεωθερμική έρευνα διέπεται από τον Νόμο 4602/2019 και τον νέο Κανονισμό Γεωθερμικών Εργασιών (ΦΕΚ 1960/Β/14/05/20210). Μέσω της νέας νομοθεσίας επιχειρείται ο εκσυγχρονισμός του ρυθμιστικού πλαισίου των διαδικασιών μίσθωσης γεωθερμικών περιοχών για έρευνα ή εκμετάλλευση και καθορίζονται οι ακριβείς παράμετροι για την ορθολογική διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων. Με τον τρόπο αυτό, η Πολιτεία, αλλά και οι εμπλεκόμενοι φορείς, ευελπιστούν να δοθεί σημαντική ώθηση στην αξιοποίηση του σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού της χώρας μας, με απώτερο στόχο την επανεκκίνηση της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής και την ουσιαστική συμμετοχή της γεωθερμίας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας .

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αγγελίδης, Κ., (2021), Νέες γεωτρήσεις στο γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου-Ηράκλειας Σερρών- Τεχνικά χαρακτηριστικά και δοκιμαστικές αντλήσεις, *Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ*.
- Αρβανίτης, Α., (1998) Συγκριτική γεωχημική μελέτη των γεωθερμικών ρευστών λεκανών με διαφορετικό γεωλογικό υπόβαθρο (Στρυμόνα και Μυγδονίας), *Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη*
- Αρβανίτης Α., (2003), Γεωθερμική μελέτη του νοτιοδυτικού τμήματος της Λεκάνης Στρυμόνα, *Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη*
- Βακαλόπουλος, Π., Ξενάκης, Μ., Βουγιουκαλάκης, Γ., Κανελλόπουλος Χ., Χριστοπούλου Μ., Σταθά, Φ. (2016), Γεωθερμική Διερεύνηση για μέση- υψηλή ενθαλπία Αιδηψού", *ΓΕΩΘΕΝ-Υπόεργο 6, ΙΓΜΕ, Αθήνα*
- Δαλαμπάκης, Π., Παπαχρήστου, Μ., Κολιός, Π. (2015), Αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης, *Πρακτικά 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 8-9 Οκτωβρίου 2015, Θεσσαλονίκη*
- Θωμαΐδου Ε., (2009), Η γεωλογική δομή της νήσου Λέσβου, *Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη*
- ΙΓΜΕ (2007), Τα γεωθερμικά πεδία της χώρας (χαρακτηρισμός σύμφωνα με τον Ν. 3175/2003), Αθήνα
- Καρυδάκης Γ. (2016): Γεωθερμικά συστήματα, Αθήνα, 2016
- Καρυδάκης, Γ., Ανδρίτσος, Ν., Φυτίκας Μ. (1999), Εξελίξεις στην ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας στον Νομό Σερρών, *Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Ι.Η.Τ. για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Τόμος Α΄, σελ. 427-434.*
- Κολιός Ν., Καρυδάκης Γ., Κουτσίνος Σ., Ζηκόπουλος Κ. (2001), Έρευνα και ανάπτυξη Γεωθερμικής ενέργειας στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη. Έργο 9531519 ΠΕΠ – Β΄ ΚΠΣ, *Τεχνική Έκθεση ΙΓΜΕ, Αθήνα*
- Μουντράκης Δ.(2010) Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξης της Ελλάδος, *University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2010.*
- Ξενάκης, Μ., Αθανασούλης, Κ., Αρβανίτης, Α., Βουγιουκαλάκης, Γ. Καρμής, Π., Σταθά, Φ., Χριστοπούλου Μ., Κανελλόπουλος Χ., (2016), Γεωθερμική έρευνα στην Ανατολική Λέσβο, *Τεχνική Έκθεση ΙΓΜΕ, ΕΣΠΑ 2017-2013, Αθήνα*
- Παπαχρήστου Μ. (2009), Η ορθολογική διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων ως προϋπόθεση για την αειφορική τους ανάπτυξη, *Πρακτικά Διεθνούς Φόρουμ «Geothermal Energy on the Spotlight», Θεσσαλονίκη*

- Παπαχρήστου Μ., Ανδρίτσος Ν., Βουδούρης Κ., Φυτίκας Μ., (2009): Η Γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα : Υφιστάμενη κατάσταση – προοπτικές, 3^ο Συνέδριο Συμβουλίου Περιβάλλοντος ΑΠΘ, 15-17/10/2009, Θεσσαλονίκη
- Σφέτσος, Κ., (1985) Υδρογεωλογική μελέτη της νήσου Λέσβου, ΙΓΜΕ, Αθήνα
- Τραγανός Γ.Γ. (1991): Η Γεωθερμική έρευνα στη λεκάνη της Μυγδονίας. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής εταιρείας* XXV/3, 409-424, 1991
- Φυτίκας Μ., (1977): "Γεωλογική και Γεωθερμική μελέτη της νήσου Μήλου", Γεωλογικές και Γεωφυσικές μελέτες *ΙΓΜΕ Τομ. XVIII Vol. No1, Αθήνα*.
- Φυτίκας, Μ., Ανδρίτσος, Ν. (2004), Γεωθερμία, *Εκδόσεις Τζιόλλα, Θεσσαλονίκη*
- Χατζής, Μ., Καβουρίδης, Θ., Βακαλόπουλος, Π., Ξενάκης, Μ., 2008. Έρευνα και εντοπισμός γεωθερμικών πεδίων στη Βόρεια Εύβοια, *Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα*.
- Φυτίκας, Μ., Βουγιουκαλάκης Γ. (1993): Ηφαιστειακή δομή και εξέλιξη της Κιμώλου και Πολυαίγου, *Πρακτικά 6^{ου} Συνεδρίου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τόμος XXVIII/2, 221-237*.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Andritsos, N., Dalabakis, P., Karydakakis, G., Kolios, N., Fytikas, M. (2007), Update and Characteristics of Low-Enthalpy Geothermal Applications in Greece, *Proceedings of the European Geothermal Congress, Unterhaching, Germany, 2007*
- Andritsos, N., Arvanitis, A., Papachristou, M., Fytikas M. and Dalambakis P. (2010), Geothermal Activities in Greece during 2005-2009, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, (2010), paper #0138, 1-10*
- Andritsos, N., Dalabakis, P., Arvanitis, A., Papachristou, M., Fytikas, M. (2015), Geothermal developments in Greece-Country Update 2010-2014, *Proceedings World Geothermal Congress, Australia*
- Angelidis, Z, (1998), Study for the emergence and protection of the thermal and medicinal springs and geothermy in the Samothrace Island, *Greek Thermalistic Company, 48 pp (1998) (in Greek)*
- Arvanitis, A. (2003), Geothermal study in the SW part of the Strymon basin, *PhD Thesis, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki (2003) (in Greek)*
- Arvanitis, A., Athanasoulis, C., Xenakis, M., Gkintoni, H., Vougioukalakis, G., Christopoulou, M., and Statha, F. (2016), Geothermal exploration on Limnos Island, Technical Report, I.G.M.E., *NSRF 2017-2013, Athens (2016a)*
- Barberi, F., Navarro, J. M., Rosi, M., Santacroce, R., and Sbrana, A., (1988), Explosive interaction of magma with ground water: insights from xenoliths and geothermal drillings. *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 43, 901–926.

- Bardintzeff, J.M., Dalabakis, P., Traineau, H., Brousse, R. (1989), Recent explosive volcanic episodes on the Island of Kos (Greece): associated hydrothermal parageneses and geothermal area of Volcania, *Terra Nova*, January 1989
- Caliro, S., G. Chiodini, D. Galluzzo, D. Granieri, M. La Rocca, G., Saccorotti, and G. Ventura (2005), Recent activity of Nisyros volcano (Greece) inferred from structural, geochemical and seismological data, *Bull. Volcanol.*, 67, M358–369.
- Chiotis, E. (1984), A Middle Miocene thermal event in Northern Greece, confirmed by coalification measurements, ‘The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean’, J.E. Dixon & A.H.F. Robertson (Eds), *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 17, 815-817 (1984)
- Dalabakis P., (1987), La volcanisme recent de Γ île de Kos, *Thèse de doctorat, Paris xi*, 266p.
- Delibasis N., Drakopoulos J., (1993), The Milos island earthquake of March 20, 1992 and its tectonic significance, *Page oph, Vol. 141, No 1, p. 43-58*.
- Dotsika, E., (2015), H-O-C-S isotope and geochemical assessment of the geothermal area of Central Greece, *Journal of Geochemical Exploration*, 150, 1-15, 2015
- Dotsika, E., Leontiadis, I., Poutoukis, D., Cioni, R., Raco, B. (2006), Fluid geochemistry of the Chios geothermal area, Chios Island, Greece, *Journal of Volcanology and geothermal Research*, 15 June 2006, Pages 237-250
- Drakopoulos J., Delibasis N., (1973), Volcanic-type Microearthquake Activity in Milos, Greece. *Ann. Geofis.*, Vol. 26, 131-153.
- Francalanci, L., Vougioukalakis, G.E., Fytikas, M., (2007), Petrology and volcanology of Kimolos and Polyegos volcanoes within the context of the South Aegean Arc, Greece, in: Beccaluva, I., Bianchini, G., Wilson, M. (Eds.), *Cenozoic volcanism in the Mediterranean area: Geol Soc. America Spec. Paper*, 418, 33–65
- Fytikas, M, (1977), Geological and Geothermal Study of Milos Island, *Geological and Geophysical Research*, Vol. XVIII No 1
- Fytikas, M., (1988), Geothermal situation in Greece, *Geothermics*, 17 (2/3), p.49-556
- Fytikas, M., (1989): Update of the geological and geothermal research on Milos island, *Geothermics*, 14, 485-496
- Fytikas, M, Marinelli, G., (1976), Geology and geothermics of the Island of Milos (Greece), *Technical Report*, doi:10.2172/5149399.
- Fytikas, M., Giuliani, O., Innocenti, F., Marinelli, G., Mazzuoli R., (1976a), Geochronological data on recent magmatism of the Aegean Sea, *Tectonophysics* 31, (1/2), p. T29-T34.
- Fytikas, M., Kouris, D., Marinelli, G., Surcin, J. (1976b) Preliminary geological data from the first two productive geothermal wells drilled at the island of Milos

- (Greece), *Proceedings of the International Congress on Thermal waters, Geothermal Energy and Volcanism of the Mediterranean area*, 1, 511-515.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A., Villari, L., (1984), Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region, DIXON, J. E. & ROBERTSON, A. H. F. (eds) *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society, London, Special Publications, 17, 687–700.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Kolios, N., Manetti, P., Mazzuoli, R., Poli, G., Rita, F., Villari, L., (1986), Volcanology and petrology of volcanic products from the island of Milos and the neighbouring islets, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 28, 297–317.
- Fytikas, M, Garnish, J. D, Hutton, V. R. S, Staroste E, Wohlenberg, J. (1989a), An integrated model for the geothermal field of Milos from geophysical experiments, *Geothermics*, 18 (4), 611-621.
- Fytikas, M., Kavouridis, T., Leonis, C. and Marini, L., (1989b), Geochemical exploration of the three most significant geothermal areas of Lesbos Island, Greece, *Geothermics*, 18, 465-475
- Fytikas, M., Karydakis, G., Kavouridis, Th., Kolios, N., Vougioukalakis, G, (1989c): Geothermal Research on Santorini, *Thera and the Aegean World III, Volume Two: 'Earth Sciences', Proceedings of the Third International Congress. Santorini, Greece, 3-9 September 1989. Publisher: Thera Foundation (1990) ISBN: 0950613371*, pp. 241 – 249.
- Fytikas, M., Karydakis, G., Kavouridis, Th., Kolios, N., Vougioukalakis, G., (1990a): Geothermal research on Santorini.
- Fytikas, M., Kolios, N. and Vougioukalakis, G. (1990b) Post-Minoan activity of the Santorini volcano: Volcanic hazard and risk, forecasting possibilities. In: Hardy, D.A., Keller, J., Galanopoulos, V.P., Flemming, N.C. and Druitt, T.H., eds., *Thera and the Aegean world III*, vol. 2., The Thera Foundation, London, 183-198.
- Fytikas, M., Kolios, N., (1992), Geothermal exploration in the west of the Nestos delta, *Acta Vulcanologica, Marinelli* 2, 237-246.
- Fytikas, M., Dalambakis, P., Karkoulas, V., Mendrinos, D, (1995), Geothermal Exploration and Development Activities in Greece during 1990-1994, *Proceedings World Geothermal Congress 1995, Florence, Italy, May 1995*.
- Fytikas, M., Dalambakis, P, Karkoulas, V., Mendrinos, D., (1999), Greek contribution, *Geothermal Atlas of Europe, EC-DG XII, Elsevier*
- Fytikas, M., Andritsos, N., Karydakis, G., Kolios, N., Mendrinos, D. and Papachristou, M., (2000), Geothermal Exploration and Development

- Activities in Greece during 1995-1999. *Proceedings World Geothermal Congress Japan*, pp. 199-203.
- Fytikas, M., Andritsos, N., Dalabakis, P. and Kolios, N. (2005), Greek geothermal update 2000–2004, *Proceedings of the 2005 World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, paper #122*, 1-8
- Huttrer W. G., (2020), Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report, *Proceedings World Geothermal Congress 2020 Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2, 2020*
- Kanellopoulos, C., Christopoulou, M., Xenakis, M., Vakalopoulos, P. (2016), Hydrochemical characteristics and geothermometry applications of hot groundwater in Edipsos area, NW Euboea (Evia), Greece, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(2), 720-729.
- Karydakis G., Andritsos N., Fytikas M. (1999), Geothermal energy developments in the Prefecture of Serres", *Proceedings of 6th National Conference on Renewable Energy Sources, Institute of Solar Technology, Vol. A*, pp. 427-434, 1999
- Karydakis, G., Arvanitis, A., Andritsos, N. and Fytikas, M, (2005), Low enthalpy Geothermal Fields in the Strymon Basin (Northern Greece), *Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005*.
- Karytsas, C., Mendrinos, D.; Fytrolakis, N. and N. Krikis, (2002), Heating and Cooling of the Mining-Electrical Engineering Building at the NTUA Campus with Geothermal Heat Pumps, *Proceedings of the International Workshop on Possibilities of Geothermal Energy Development in the Aegean Islands Region. Milos, Greece*, pp. 194-205.
- Kaufmann, G., Kockel, F., Mollat, H, (1976), Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula Formation in the Innermost zone of the Hellenides (Northern Greece), *Bull. Soc. Geol. France* (7) 18, 225-230.
- Kavouridis, T., Kuris, D., Leonis, C., Liberopoulou, V., Leontiadis, J., Panichi, C., La Ruffa, G., Caprai, A. (1999): Isotope and chemical studies for a geothermal assessment of the island of Nisyros Greece. *Geothermics* 28, 1999, pp 219-239.
- Kavouridis, T., Vrellis, G., Vakalopoulos, P. & Xenakis, M (2009), Geothermal potential in SE Chios. CD-ROM *Proceedings of GES 2009, 11–12 December 2009, Thessaloniki, Greece, 2009*.
- Kolios, N., Koutsinos, S., Arvanitis, A., Karydakis, G., (2005), Geothermal Situation in Northeastern Greece, *Proceedings World Geothermal Congress 2005. Antalya, Turkey, 24-29 April 2005*.
- Kolios, N., Fytikas, M., Arvanitis, A., Andritsos, N., Koutsinos, S., (2007), Prospective Medium Enthalpy Geothermal Resources in Sedimentary Basins

- of Northern Greece, *Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May – 1 June 2007*.
- Koutroupis, N., Update of geothermal energy development in Greece, *Geothermics* 1992
- Lagios, E., Chailas, S., Giannopoulos, J., Sotiropoulos, P. (1998), Surveillance of Nissyros Volcano: Establishment and remeasurement of Rn and GPS network, *Proc. 8th Intern Congress, Geological Society of Greece, Patras, May 27-29, 1998*.
- Lalechos, N., and Savoyat, E., (1979), La sedimentation Neogene dans le Fosse Nord Egeen, *VI Colloquium on the Geology of the Aegean region 2*, 591-603.
- Lindal, B., (1973), Industrial and other applications of geothermal energy, *Geothermal Energy, UNESCO, Paris*
- Lund W. J., and Toth N. A., (2020): Direct Utilization of Geothermal Energy 2020-Worldwide Review, *Proceedings World Geothermal Congress 2020 Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2, 2020*.
- Mendrinou, D, Chorapanitis, I., Polyzou, O., and Karytsas, C. (2010), Exploring for geothermal resources in Greece, *Geothermics*, 39, (2010)
- Nimfopoulos, M.K., Mylopoulos, M. and Katirtzoglou, K., (2002), A qualitative-quantitative study of water and environmental pollution at the broader area of the Mygdonia basin, Thessaloniki, n. Greece, *Proceedings of 6th Pan-Hellenic Geographical Conference of the Hellenic Geographical Society, Thessaloniki, 3-6 October*.
- P.P.C. (Public Petroleum Corporation) (1988): Evaluation of deep oil holes, Athens, 42-53 (1988)
- Papachristou, M., Nikolaidou, E., Fytikas, M., Andritsos, N., Kolios, N., (2014), «Evaluation and exploitation of the geothermal resources in Santorini island», *Proceedings 10th National Congress on Renewable Energy Sources, November 2014, Thessaloniki, Greece*
- Papachristou, M., Fytikas, M., Andritsos, N., Nikolaidou E., and Kolios, P. (2016a), New thermometric data from shallow aquifers in Santorini island (Greece), Possibilities for geothermal exploitation, *Proceedings, European Geothermal Congress, Strasbourg, (2016)*.
- Papachristou, M., Mendrinou, D., Dalabakis, P., Arvanitis, A., Karytsas C. Andritsos, N. (2016b), «Geothermal Energy Use, Country Update for Greece», *Proceedings European Geothermal Congress, Strasbourg, France, 19-23 September 2016*.
- Papachristou, M., Arvanitis, A., Mendrinou, D., Dalabakis, P., Karytsas, C. and Andritsos N. (2019), Geothermal Energy Use, Country Update for Greece (2016-2019), *Proceedings, European Geothermal Congress, Den Haag*

- Papachristou, M., Dalampakis, P., Arvanitis, A., Mendrinos, D., Andritsos, N. (2020), Geothermal developments in Greece—Country update 2015-2020, *Proceedings World Geothermal Congress 2020 Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2*
- Papadopoulos, G.A., (1984), Seismic Properties in the Eastern Part of the South Aegean Volcanic Arc, *Bulletin of Volcanology*, volume 47, 143-152.
- Papadopoulos, G.A., Sachpazi, M., Panopoulou, G., and Stavrakakis. G., (1998), The volcano-seismic crisi of 1996-97 in Nisyros, SE Aegean Sea, Greece, *Terra Nova*, 10, 151-154
- Papanikolaou, D. & Lekkas, E. (1990), Miocene tectonism in Kos, Dodekanese Islands. *International Earth Sciences Congress on Aegean regions (IESCA 1990)*, *Extended Abstract*, p. 179, Izmir
- Papastamatiou, J. (1958), Sur l'âge des calcaires cristallines del' ile de Thera (Santorin). *Bull. Geol. Soc. Greece*, 3, p. 104-113.
- Pe-Piper, G., Piper D., Zouros, N. Anastasakis, G. (2009), Age, stratigraphy, sedimentology and tectonic setting of the Sigri Pyroclastic Formation and its fossil forests, Early Miocece, Lesbos, Greece, *Basin Research*, 31, p. 1178-1197
- Pe-Piper, G., Imperial, A., Piper, D. J.W, Zouros, N., Anastasakis, G., (2019), Mineral data (SEM, electron microprobe, Raman spectroscopy) from epithermal hydrothermal alteration of the Miocene Sigri Petrified Forest and host pyroclastic rocks, Western Lesbos, Greece *Data in Brief*, Volume 24, June 2019, Page 103987
- Ruffa, G.L., Panichi, C., Kavouridis, T. et al., (1999), Isotope and chemical assessment of geothermal potential of Kos Island, Greece, *Geothermics*, 28(2), 205-217.
- Syrides, G. (2000), Neogene marine cycles in Strymon basin, Macedonia, Greece, Geological Society of Greece, Special Publications *Proceedings Interim Colloquim RCMNS, Patras, Greece, May 1988*, 9, 217-225 (2000)
- Tsokas, G, Hansen, R.O., Fytikas, M., Vassilelis, G.D., Thanassoulas, C., (1995), Geological and Geophysical study of the island of Kimolos (Greece) and Geothermal implications, *Geothermics*, 24, 5/6, 679-693, 1995.
- Valentino, G.M., Stanzione, O., (2004), Geochemical Monitoring of the thermal waters of Phlegraean Fields, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 133, 261-289.
- Vougioukalakis G. E, Fytikas M., (2005), Volcanic hazards in the Aegean area, relative risk evaluation, monitoring and present state of the active volcanic centers, *Developments in Volcanology*, 7 (C), 161-183
- Vrouzi, F., (1985), Research and development of geothermal resources in Greece, *Geothermics*, 14 (2/3), pp. 213-227